

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



# **Alimentação automática de blocos de polímeros a linha de misturação de borracha Big Tandem**

**Carlos Jorge Bessa Damas da Silva**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Paulo Portugal (PhD)

Orientador na empresa: Eng. Bruno Nunes

25 de Junho de 2018



# Resumo

A presente dissertação consiste no projeto de um novo sistema, no âmbito de uma ideia de automação da forma de carregamento de blocos de borracha para alimentação no misturador. Criou-se um conceito de sistema, abordando vários pontos importantes para a sua concepção.

Primeiramente aborda-se o processo produtivo de um pneu de uma forma geral, apresentando brevemente as fases da produção. Dá-se posteriormente mais ênfase na fase de mistura, a primeira do ciclo produtivo, pois é aí que se enquadra a dissertação.

Enquadra-se o problema no processo produtivo da fábrica e faz-se uma análise mais aprofundada da situação atual, através do levantamento de métricas e etapas do processo específico, de modo a definir requisitos para o sistema a desenvolver.

É feito um estudo de equipamentos capazes de cumprir funções de despaletização, transporte, manipulação e corte de blocos de borracha de forma automática, de modo a obter potenciais componentes para o sistema.

Sendo o objetivo desenvolver um novo sistema, são necessárias competências no planeamento de *layouts*, pelo que se estudam diferentes ideias e possibilidades de funcionamento, de modo a obter a solução com mais potencial, fazendo uma análise multi-critério entre as opções projetadas. Este estudo comporta simulações do funcionamento dos *layouts* (no *software* Visual Components) projetados para levantamento de métricas associadas bem como a elaboração de conceitos de novos equipamentos.

Após estar definido um *layout* do sistema, procede-se a uma definição mais detalhada de características dos equipamentos escolhidos e à definição de equipamentos de controlo. É feito, por fim, uma modelação do controlo do sistema recorrendo a diagramas *grafcet* e fluxogramas.



# Abstract

This thesis consists in designing a new system, within the scope of an idea of automation about the way of loading rubber blocks for feeding the mixer. A system concept was created, addressing several important points for its conception.

Firstly, the production process of a tire in general is addressed, briefly presenting the stages of production. More emphasis is given later on the mixing stage, the first one of the productive cycle, because that is where the dissertation happens.

Then the problem is framed in the production process of the factory and a more in-depth analysis of the current situation is made, through the registration of metrics and stages of the specific process, in order to define requirements for the system to be developed.

It's made a study of equipments capable of carrying out the functions of depalletization, transport, handling and cutting of rubber blocks automatically, in order to obtain potential components for the system.

As the objective is to develop a new system, competencies are needed in the planning of layouts, so different ideas and possibilities of operation are studied, in order to obtain the solution with the most potential, doing a multi criteria analysis among the projected options. This study includes the simulation of the designed layouts (in the Visual Components software) to get associated metrics as well as the design of new equipment concepts.

After the system layout has been defined, a more detailed definition of the characteristics of the chosen equipment and the definition of control equipment is carried out. Finally, a system control modeling is done using grafcet diagrams and flowcharts.



# Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com o apoio de várias pessoas e entidades sem qual a sua realização não teria sido possível.

À Continental Mabor pela oportunidade de realizar a dissertação num ambiente industrial complexo e desafiante, bem como pelo prémio atribuído.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Portugal pelo apoio, disponibilidade e ajuda na resolução e estruturação das várias dificuldades que surgiram.

Ao orientador na empresa e proponente da dissertação, Eng. Bruno Nunes, pela disponibilidade e orientação do trabalho.

Ao Eng. Pedro Fumega, pela disponibilidade em mostrar o funcionamento da fábrica, bem como o esclarecimento de dúvidas e ajuda.

À restante equipa da Engenharia 1, Eng. Paulo Rodrigues e Eng. Rafael Manso, pelos esclarecimentos e apoio que necessitei.

À minha família, em especial à minha mãe, por todo o apoio durante o percurso académico.

Por fim, agradecer à Beatriz Silva, pelo apoio, amizade e encorajamento nas várias dificuldades que surgiram.



*“Not everything that can be counted counts,  
and not everything that counts can be counted”*

A. Einstein



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.1.1	A empresa . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Estrutura da Dissertação . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Processo de fabrico de pneus</b>	<b>7</b>
2.1	Constituintes do pneu . . . . .	8
2.2	Ciclo produtivo . . . . .	9
2.2.1	Misturação . . . . .	10
2.2.2	Preparação de Materiais . . . . .	10
2.2.3	Construção . . . . .	10
2.2.4	Vulcanização . . . . .	11
2.2.5	Inspeção final . . . . .	12
2.3	Matérias primas . . . . .	12
2.3.1	Borracha . . . . .	12
2.3.2	Óleos . . . . .	13
2.3.3	Pigmentos . . . . .	13
2.3.4	Enchedores . . . . .	14
2.4	A misturação no ciclo produtivo . . . . .	14
2.5	Enquadramento do problema . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Descrição do problema</b>	<b>21</b>
3.1	Situação atual . . . . .	21
3.1.1	Análise do processo . . . . .	25
3.1.2	Materiais envolvidos . . . . .	30
3.2	Objetivos e Requisitos . . . . .	35
3.2.1	Objetivos . . . . .	35
3.2.2	Requisitos . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Estudo do layout</b>	<b>41</b>
4.1	Abordagem ao projeto . . . . .	41
4.2	Planeamento de layouts . . . . .	44
4.2.1	SLP - <i>Systematic Layout Planning</i> . . . . .	45
4.3	<i>Layouts</i> projetados . . . . .	47
4.3.1	Relações . . . . .	47
4.3.2	Espaço . . . . .	53
4.3.3	Alternativas de <i>layouts</i> . . . . .	55

4.3.4	Análise comparativa . . . . .	59
4.3.5	Simulação . . . . .	61
4.3.6	Plano do <i>layout</i> . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Arquitetura do Sistema</b>	<b>73</b>
5.1	Equipamentos . . . . .	73
5.1.1	Unidade de alimentação . . . . .	73
5.1.2	Unidade de transporte - Sistema de visão . . . . .	75
5.1.3	Unidade de corte . . . . .	77
5.2	Arquitetura de controlo . . . . .	79
5.2.1	Equipamentos de controlo . . . . .	79
5.2.2	Arquitetura de comunicação . . . . .	82
5.3	Modelação do funcionamento . . . . .	82
5.3.1	Unidade de Alimentação . . . . .	83
5.3.2	Unidade de Transporte . . . . .	84
5.3.3	Unidade de Corte . . . . .	86
5.3.4	Controlo de <i>batch</i> . . . . .	88
5.3.5	Controlo de Receita . . . . .	89
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>91</b>
6.1	Satisfação dos Objectivos . . . . .	91
6.2	Trabalho Futuro . . . . .	92
<b>A</b>	<b>Sensores e atuadores</b>	<b>93</b>
A.1	Unidade de alimentação . . . . .	93
A.2	Unidade de corte . . . . .	96
<b>B</b>	<b>Controlo</b>	<b>99</b>
B.1	Funções . . . . .	99
	<b>Referências</b>	<b>103</b>

# Lista de Figuras

1.1	Vista exterior da fábrica - 2017 [1] . . . . .	2
1.2	Parte da planta fabril da <i>Continental Mabor</i> [2] . . . . .	3
2.1	Comparação entre duas características de desempenho [3] . . . . .	7
2.2	Estrutura de um pneu [4] - adaptado . . . . .	8
2.3	Etapas do processo de fabrico de pneus . . . . .	9
2.4	Fase de Construção [5] . . . . .	11
2.5	Prensa de vulcanização [6] . . . . .	11
2.6	Tipos de matérias primas da misturação . . . . .	12
2.7	Exemplos de blocos de borracha utilizados na misturação . . . . .	13
2.8	Misturador simples [7] . . . . .	14
2.9	Misturador <i>Tandem</i> [7] . . . . .	15
2.10	Conjunto extrusora e calandra [7] . . . . .	16
2.11	Sistema <i>batchoff</i> - arrefecimento de borracha [8] . . . . .	17
2.12	Empilhamento da borraca [8] . . . . .	17
2.13	Representação de linha de misturação (singular) completa [8] . . . . .	18
2.14	Alimentação ao misturador [9] - adaptado . . . . .	19
3.1	Situação atual da célula de alimentação de matérias primas . . . . .	21
3.2	Paleta <i>GoodPack</i> . . . . .	22
3.3	Transportador com pesagem . . . . .	23
3.4	Exemplos de blocos de borracha utilizados na misturação . . . . .	23
3.5	Guilhotina hidráulica para corte de blocos de borraha [10] . . . . .	24
3.6	Fases do processo de carregamento de blocos de polímeros . . . . .	25
3.7	Tarefas da fase de posicionamento das paletes na célula . . . . .	26
3.8	Paleta com uma camada restante, na posição de despaletização . . . . .	27
3.9	Leitura de códigos de barras das paletes . . . . .	27
3.10	Tarefas da fase de execução da receita . . . . .	28
3.11	Requisitos e situação temporal da execução da receita . . . . .	29
3.12	Padrões de paletização existentes . . . . .	32
3.13	Fluxo do corte automático . . . . .	39
4.1	Fases do ciclo de vida de um projeto - [11] . . . . .	41
4.2	Modelo <i>Vee</i> - Método Sequencial - [11] - adaptado de [12] . . . . .	43
4.3	Intervenientes no projeto de um <i>layout</i> . . . . .	44
4.4	Fases do planeamento de <i>layouts</i> - [13] . . . . .	45
4.5	O padrão de procedimentos SLP - [13] . . . . .	46
4.6	Unidade de alimentação de paletes . . . . .	48
4.7	Robô ABB apropriado à função - [14] . . . . .	49

4.8	Eixo linear para expansão da área de trabalho do robô - [15]	50
4.9	Robô <i>gantry</i> AMI apropriado à função - [16]	51
4.10	Características Robô <i>gantry</i> da figura 4.9- [16]	51
4.11	Guilhotina automática PumaCut300 - [17]	52
4.12	Área disponível para o módulo	53
4.13	Representação da área disponível no desenho da linha	54
4.14	Opção 1 - Layout automático com sistema de corte, braço robótico com unidade linear e carregamento manual de paletes	55
4.15	Fluxograma de funcionamento da opção 1	56
4.16	Opção 2 - Layout totalmente automático com sistema de corte, braço robótico com unidade linear e <i>buffer</i> de paletes	57
4.17	Opção 3 - Layout parcialmente automático com braço robótico, <i>buffer</i> de paletes e carregamento manual de blocos parciais	58
4.18	Opção 4 - Layout totalmente automático com sistema de corte, robô <i>gantry</i> e <i>buffer</i> de paletes	59
4.19	Aspeto gráfico do software - [18]	62
4.20	Sistemas simulados em <i>Visual Components</i>	62
4.21	Parâmetros do programa de movimentação do robô	63
4.22	Execução da receita R1 pelo robô <i>gantry</i>	64
4.23	Execução da receita R1 pelo braço robótico	65
4.24	Conceito do <i>gripper</i> modelizado	66
4.25	Simulação do conceito de extração do bloco	66
4.26	Área ocupada pelo conceito escolhido	67
4.27	Vista de topo da unidade de alimentação de paletes	68
4.28	<i>Display</i> - [19]	68
4.29	Carregamento de paletes na unidade de alimentação (exemplo para receita R3)	69
4.30	Fim do <i>set-up</i> para a unidade de alimentação	70
4.31	Enquadramento do robô <i>gantry</i> com a unidade de alimentação	70
4.32	Vista de topo da unidade de corte	71
4.33	Fluxograma de funcionamento da unidade de corte	71
4.34	Malcam MMA-3020 para medida de densidade de blocos de borracha - [20]	72
4.35	Resultados da análise do Malcam MMA-3020 - [20]	72
5.1	Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas	74
5.2	Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas	74
5.3	Tipos de mapeamento 3D - [21]	75
5.4	Câmara TOF - [22]	76
5.5	Triangulação 3D - [23]	77
5.6	Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas	78
5.7	Exemplo de <i>crossing conveyor</i> para mudança de direção	78
5.8	Equipamentos de controlo para o sistema - Siemens	80
5.9	<i>Softwares</i> e interações do PC industrial	80
5.10	Elementos constituinte da modelação do controlo em <i>grafcet</i>	83
5.11	<i>Grafcet</i> para controlo da unidade de alimentação	85
5.12	<i>Grafcet</i> para controlo da unidade de transporte	86
5.13	<i>Grafcet</i> para controlo da unidade de corte	87
5.14	<i>Grafcet</i> para controlo do <i>batch</i>	89
5.15	<i>Grafcet</i> para controlo da receita	90

B.1	Fluxo da função Cut . . . . .	99
B.2	Fluxo da função ToCutter . . . . .	100
B.3	Fluxo da função ToScale . . . . .	101



# Lista de Tabelas

3.1	<i>Setup</i> de material . . . . .	26
3.2	Execução da receita . . . . .	29
3.3	Dimensões dos vários tipos de palete . . . . .	30
3.4	Blocos de borracha identificados em <i>stock</i> na célula . . . . .	31
3.5	Padrões de paletização de cada elemento . . . . .	33
3.6	Receitas com elementos e quantidade . . . . .	33
3.7	Receitas com elementos e quantidade . . . . .	34
3.8	Tolerância de pesagem . . . . .	34
3.9	Receitas com elementos e quantidade ajustada . . . . .	34
3.10	Níveis de automação [24] - adaptado . . . . .	36
4.1	Fases do ciclo de vida genéricas - [11] . . . . .	42
4.2	Escala para ergonomia, fiabilidade e flexibilidade . . . . .	60
4.3	Escala para automatismo . . . . .	60
4.4	Preços estimados para equipamentos . . . . .	60
4.5	Análise multi-critério de comparação entre <i>layouts</i> . . . . .	61
4.6	Análise multi-critério normalizada de comparação entre <i>layouts</i> e resultado . . . . .	61
4.7	Simulação robô <i>gantry</i> . . . . .	64
4.8	Simulação do braço robótico . . . . .	64
4.9	Receita R3 . . . . .	69
4.10	Número de blocos necessários para receita R3 . . . . .	69
4.11	Número de blocos por palete de cada elemento . . . . .	69
4.12	Número de paletes necessárias à execução da receita . . . . .	69
5.1	Parâmetros do sistema de controlo . . . . .	83
5.2	Funções base de controlo . . . . .	84
A.1	Sensores da unidade de alimentação . . . . .	94
A.2	Atuadores da unidade de alimentação . . . . .	95
A.3	Sensores da unidade de corte . . . . .	96
A.4	Atuadores da unidade de corte . . . . .	97



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

No plano curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores está definido a realização da dissertação no último semestre do curso, que poderá ser realizada numa instituição externa à Faculdade de Engenharia, o caso desta dissertação.

A dissertação “Alimentação Automática de Blocos de Polímeros a Linha de Misturação de Borracha Big Tandem” surgiu no contexto da obtenção de um prémio atribuído pela empresa Continental Mabor, o ContiBest Student Award, que dá a possibilidade de realizar um estágio na *Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A.*. O tema tem como título “Alimentação Automática de Blocos de Polímeros a Linha de Misturação de Borracha Big Tandem”.

A dissertação foi realizada no DE1 (Departamento de Engenharia 1), um sub-departamento de Engenharia responsável pela área de misturação de borracha. O departamento de engenharia está dividido em dez secções, e é um dos doze departamentos que constituem a empresa.

A misturação é a fase inicial do processo de produção de um pneu, onde são processados e misturados vários materiais (polímeros, óleos, pigmentos, entre outros) em quantidades específicas para dar origem a um tipo específico de borracha que constitui parte do pneu. Este processo é complexo e requer uma grande variedade de equipamentos de misturação, acondicionamento e manuseamento de materiais. Devido à crescente necessidade de maior eficiência e eficácia na fábrica por via da automação, procura-se desenvolver novas e inovadoras formas de tratar e manusear os materiais constituintes da borracha, âmbito este em que se situa o desenvolvimento desta dissertação.

O nível automação pretendido com o projeto desta dissertação visa potenciar a rastreabilidade de materiais, redução de erro humano, melhoria de ergonomia e de tempos de produção relativos à alimentação dos polímeros ao misturador.

### 1.1.1 A empresa

A presente dissertação foi realizada na *Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A.*, uma empresa fabricante de Pneus, localizada em Lousado, Vila Nova de Famalicão. A empresa pertence à holding *Continental AG*, com sede em Hannover, na Alemanha.

Na fabricação de Pneus, a empresa situa-se maioritariamente no mercado de pneus alta performance, sendo que fabrica para OEM (*Original Equipment Manufacturer*) e para mercado de substituição. Com uma produção de cerca de 58000 pneus/dia, face os 2000 pneus/dia em 1996 e 5000 pneus/dia em 1990, podemos constatar que a fábrica tem sido alvo de grandes investimentos e expansões de modo a aumentar a sua capacidade. De salientar que 98% da produção é destinada a exportação, para um conjunto de 67 países, figura 1.1.



Figura 1.1: Vista exterior da fábrica - 2017 [1]

A empresa fechou o ano de 2017 com uma faturação de 878,4 milhões de euros, o que representa um crescimento de 6% face ao ano anterior. Desta faturação, obteve-se um resultado líquido (i.e. lucro) de cerca de 211,6 milhões de euros. No final do ano de 2017 a fábrica possuía universo de 2038 trabalhadores. [2]

Tendo obtido por vários anos consecutivos o prémio *Quality Award* (2011-15), atribuído pelo grupo Continental à melhor fábrica do Grupo do ano em questão, é uma empresa de referência a nível nacional, com constantes projetos de melhoria contínua de modo a terem cada vez mais eficiência e um crescimento sustentável.

A dissertação foi desenvolvida durante o estágio na empresa, no Departamento de Engenharia, com início no dia 5 de fevereiro de 2018 e término no dia 4 de julho de 2018.



Figura 1.2: Parte da planta fabril da *Continental Mabor* [2]

## 1.2 Objetivos

O processo de misturação de borracha compreende vários processos de preparação de materiais, como a seleção e colocação dos compostos constituintes da borracha em questão. Estes compostos são na sua maioria polímeros, naturais ou sintéticos, que misturados numa determinada proporção dão origem a um certo tipo de borracha. Atualmente os operadores despaletizam e colocam num tapete de alimentação dos misturadores estes polímeros, que se encontram paletizados em forma de blocos.

O objetivo global para a dissertação é o projeto de um sistema de despaletização e alimentação automática de blocos de polímeros a um transportador com pesagem de uma linha de misturação de borracha. Este objetivo abrange várias áreas de estudo, que serão descritas posteriormente neste documento. Em termos gerais, o problema situa-se numa célula fabril onde é efetuado o corte, transporte e pesagem de vários tipos de polímeros de modo a serem processados posteriormente numa misturadora. Atualmente este processo é praticamente manual, mas tem potencial para ser mais automático. Pretende-se realizar as operações de colocação de blocos de polímeros numa balança, recorrendo a tecnologias robóticas e de visão artificial, para retirar estes blocos de paletes situadas na área circundante. Partindo deste objetivo global, surgem vários temas que são necessários definir, como o layout da célula fabril. A definição do layout da célula é um dos objetivos base deste trabalho, uma vez que engloba características temporais, de ergonomia de trabalho, definição de equipamentos, sequência de operações, entre outros. Fazendo parte do âmbito a escolha de equipamentos, por parte dos fornecedores da continental, a sua disposição e também pesquisa e estudo de soluções de integração com os sistemas de monitorização da empresa.

Os seguintes pontos mostram mais sucintamente os objetivos gerais da dissertação:

- Despaletização de Blocos de Polímeros a partir de paletes tipo "Goodpack"
- Buffer e alimentação Automática de Blocos de Polímeros ao transportador balança de linha de Misturação de Borracha
- Corte e alimentação automática de partes blocos de Polímeros na Linha de Misturação de Borracha
- Utilização de visão artificial e sistema de pesagem nos sistemas de manipulação na fase do picking e alimentação
- Interface com sistema de Controlo da Linha de Misturação

## **1.3 Estrutura da Dissertação**

No capítulo 2 é apresentado o processo produtivo de um pneu, com ênfase na área de mistura de modo a enquadrar o problema apresentado.

No capítulo 3 é feita uma descrição detalhada do problema, com apresentação da situação atual.

No capítulo 4 são apresentadas possíveis soluções de layout e comparações entre estas de modo a obter a melhor solução, bem como simulações efetuadas e equipamentos possíveis.

No capítulo 5 é definida uma arquitetura de controlo para o sistema escolhido.

No capítulo 6 são apresentadas algumas conclusões, limitações e perspetivas de trabalho futuro.



## Capítulo 2

# Processo de fabrico de pneus

O fabricação de pneus é um processo complexo, que envolve várias matérias primas e materiais ao longo do processo, bem como máquinas altamente especializadas. Neste capítulo são abordados os processos e materiais utilizados no fabrico do pneu, bem como o enquadramento da misturação e do problema proposto no seu ciclo produtivo.

O pneu é um dos elementos essenciais à mobilidade automóvel, é um elemento que possui funções de suporte de carga, de estabilidade e proporcionar respostas aos estímulos de acelerações e desacelerações. É um produto do qual depende diretamente a segurança de um veículo, pelo que tem que obedecer a altos padrões de qualidade, e por isso está sujeito a uma monitorização constante ao longo do seu processo de fabrico. Ou seja, tem que ser um produto seguro e produzido com o máximo rigor, de modo a executar adequadamente a sua função.

Segundo [3], os pneus automóveis possuem um conjunto de características de desempenho que visam ser potenciadas ao máximo, como é o caso da resistência ao rolamento ou a distância de travagem. Por vezes, maximizar uma destas características implica reduzir uma outra, pelo que um pneu de alta gama deve ser o mais balanceado possível nas suas características, tentando maximizar o conjunto destas, como ilustrado na seguinte figura 2.1.

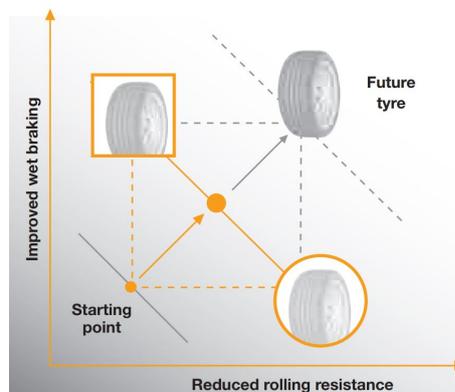


Figura 2.1: Comparação entre duas características de desempenho [3]

Estas características são definidas pelo tipo de borracha que constitui as várias partes do pneu. Este tipo de borracha é conseguido através da execução de uma receita que compreende várias matérias primas para a sua execução, tópico que será abordado em 2.3.

## 2.1 Constituintes do pneu

Apesar da aparência relativamente simples de um pneu, a sua constituição é bastante complexa, o que justifica o seu processo produtivo. É constituído por várias camadas de vários materiais que conferem resistência, segurança, estanquicidade e estabilidade na sua utilização. Na figura 2.2 estão representados os vários constituintes de um pneu.



Figura 2.2: Estrutura de um pneu [4] - adaptado

Os vários componentes apresentados possuem as seguintes funções (figura 2.2):

1. O **piso** é a parte do pneu que fica em contacto com o solo, é constituído por 3 camadas de borracha diferentes.
2. A **cinta têxtil** serve de barreira térmica entre o piso e as cintas metálicas, bem como de reforço.
3. A **cinta metálica** confere a forma e estabilidade direcional, reduz a resistência ao rolamento e aumenta a durabilidade do pneu.
4. A **tela** é o elemento que fornece consistência ao pneu e dá capacidade de o manter sobre elevadas pressões internas.

5. A **camada estanque** funciona com uma câmara de ar, ou seja, tem a função de reter o ar dentro do pneu.
6. A **parede lateral** protege contra choques laterais e contra a degradação atmosférica.
7. A **cunha de talão** fornece estabilidade direcional, precisão na condução e melhora o conforto.
8. O **núcleo do talão** é um aro metálico destinado a assegurar que o talão assenta com firmeza na jante.
9. O **reforço de talão** é uma cinta de nylon, conhecido com protetor da jante, que torna o conjunto 7 e 8 mais forte.

Para obter estes elementos constituintes do pneu são necessários vários processos mecânicos e térmicos de produção, tratamento e conformação de borracha.

## 2.2 Ciclo produtivo

O processo de fabricação de um pneu, compreende várias etapas, que definem a estrutura da fábrica e de divisão de trabalho entre departamentos. Essas etapas estão representadas na figura 2.3.

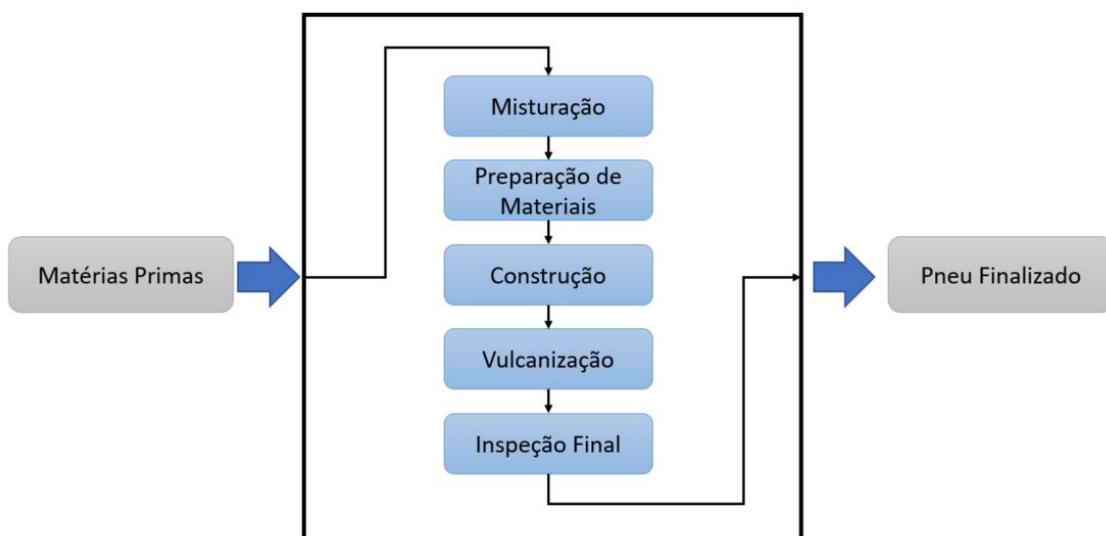


Figura 2.3: Etapas do processo de fabrico de pneus

Segue-se uma explicação geral sobre cada uma dessas etapas:

### 2.2.1 Misturação

A misturação é a área da fábrica onde tem início o ciclo produtivo. É uma etapa na qual se produzem compostos diretamente a partir das matérias primas e de compostos intermédios (i.e. já produzidos a partir dos ingredientes base). Esta fase do processo será explicada com mais detalhe em [2.4](#).

### 2.2.2 Preparação de Materiais

A fase seguinte depois da misturação é a preparação de materiais, onde os materiais provenientes da misturação são processados, e em que são introduzidos os compostos metálicos e têxteis que fazem parte da estrutura do pneu. Esta fase pode ser dividida em 3 processos principais:

- **Extrusão**, que é o processo onde são produzidas telas de borracha para as paredes laterais e pisos. Consiste em forçar a borracha através de uma rosca sem fim contra uma matriz, de modo a esta adquirir a forma determinada pela matriz.
- **Calandragem**, de tecido ou borracha, é onde se faz a impregnação de tecido na borracha ou a junção de camadas de borracha, respetivamente.
- **Corte** é o processo onde é cortado o tecido têxtil e o tecido metálico, após terem sido impregnados na borracha na etapa de calandragem.

Para além dos processos descritos, é ainda nesta fase que são produzidos as cunhas e talões do pneu.

### 2.2.3 Construção

A construção tem como *inputs* todos os produtos fabricados nas etapas anteriores, tendo como objetivo a junção desses produtos num só, dando origem ao "pneu em cru". Este pneu possui um comportamento plástico da borracha, ao invés do comportamento elástico que é necessário a um pneu. Nesta fase o pneu não possui relevo no piso.

Entre a Construção e a Vulcanização existe um passo intermédio denominado de **lubrificação do pneu em cru** ou **pintura**, que consiste na aplicação de um produto (em apenas alguns pneus e de forma intercalada) para facilitar a vulcanização, evitando a aderência do pneu aos componentes utilizados nesse processo.



Figura 2.4: Fase de Construção [5]

#### 2.2.4 Vulcanização

Na vulcanização são utilizados moldes para dar a forma final ao pneu. Esta moldagem é conseguida através da ação de pressão e temperatura aplicada durante um pré-determinado tempo. É nesta fase que o pneu deixa de ter um comportamento plástico, passando para um comportamento elástico e que se dá a forma ao piso do pneu. Sendo que, caso exista uma mal formação do pneu que não seja reparável, a borracha já não poderá ser reaproveitada.

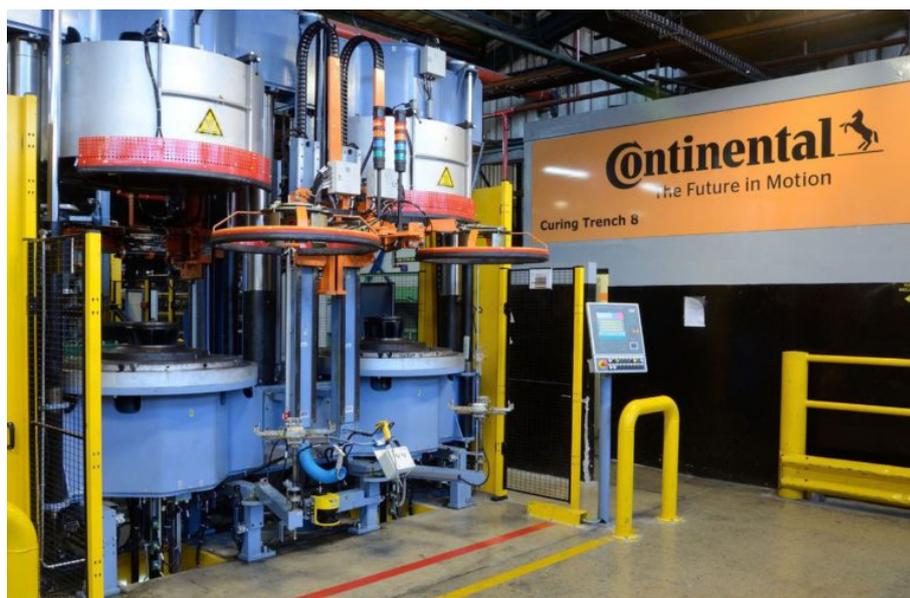


Figura 2.5: Prensa de vulcanização [6]

### 2.2.5 Inspeção final

Após a etapa de vulcanização segue-se a inspeção final, onde são feitas várias verificações e testes ao pneu, de modo a garantir a qualidade e segurança do produto. Esta fase pode ser constituída por várias etapas, como a inspeção visual, testes de uniformidade e de balanceamento, entre outros.

## 2.3 Matérias primas

Antes de introduzir os tipos de matérias primas, é importante apresentar o conceito de **composto** neste âmbito: Um composto é uma mistura de vários ingredientes com o objetivo de atingir características específicas.

Focando a área de misturação, para dar origem aos vários tipos de borracha que se encontra no pneu é necessário uma variedade de matérias primas que serão descritas posteriormente. Estes ingredientes base são tratados em várias fases da mistura dando origem a diferentes compostos dos quais resultarão produtos finais, situação será abordada mais detalhadamente em 2.4. Cada um dos ingredientes conferem determinadas características à borracha produzida.

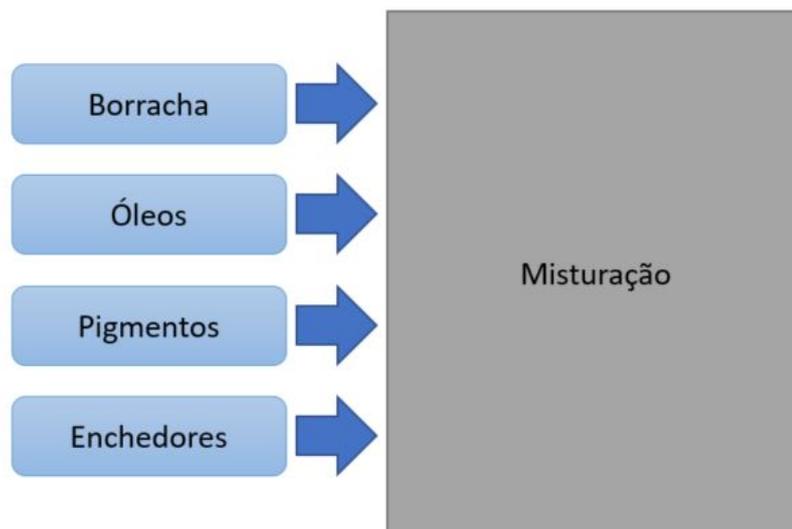


Figura 2.6: Tipos de matérias primas da misturação

### 2.3.1 Borracha

A borracha é um componente base dos compostos produzidos. Pode ser natural, obtida da árvore seringueira através da coagulação do látex da mesma, ou sintética, que é produzida principalmente através de derivados de petróleo. A borracha utilizada encontra-se cortada e paletizada

na forma de blocos, como ilustrado na figura 2.7.



Figura 2.7: Exemplos de blocos de borracha utilizados na misturação

### 2.3.2 Óleos

Os óleos têm como função facilitar o processamento do composto nos processos de extrusão, calandragem e vulcanização, bem como a modificação das propriedades da borracha durante a misturação, de modo a permitir uma mistura mais eficaz e eficiente, através da redução da rigidez da mistura e tornando mais fácil a junção de novos ingredientes. Os óleos são considerados **ajudantes de processamento** e podem ser, entre outros, óleos amaciadores, plastificadores e promotores de adesividade.

### 2.3.3 Pigmentos

O grupo de ingredientes pertencentes aos pigmentos é vasto, encontrado-se elementos **antidegradantes, ativadores, aceleradores e agentes de vulcanização**:

- Os **antidegradantes** protegem o composto contra a deterioração causada por fatores ambientais (ar, luz, calor, radiação).
- **Aceleradores** são elementos químicos utilizados para controlar a taxa de vulcanização. São tipicamente classificados quanto à taxa de vulcanização que potenciam (Lento, Moderado, Rápido, Ultra-rápido) e um composto tem frequentemente mais do que um tipo de acelerador na sua composição.
- Os **ativadores** são utilizados em conjunto com os aceleradores para favorecerem a vulcanização e obter as propriedades desejadas.
- O **agente de vulcanização** é o enxofre, e é o responsável pela vulcanização da borracha, ou seja, estabelece ligações permanentes entre as cadeiras de borracha, conferindo-lhe um comportamento elástico.

### 2.3.4 Enchedores

Os enchedores são responsáveis por reforçar as propriedades do pneu, nomeadamente a dureza, resistência ao desgaste, resistência à abrasão, resistência ao rasgo, entre outros. Dentro destes ingredientes estão o **negro de fumo** e a **sílica**:

- O **negro de fumo** é responsável pela cor preta do pneu, e confere resistência e durabilidade. É produzido através da queima de óleos especiais.
- A **sílica** providencia uma melhor travagem em piso molhado ao mesmo tempo que reduz a resistência ao rolamento.

## 2.4 A misturação no ciclo produtivo

Relativamente ao processo de misturação, este é feito em duas fases, produzindo dois tipos de compostos: na primeira fase compostos *master* e na segunda compostos finais. Um composto *master* é um elemento intermédio no processo de misturação e vai dar origem a um composto final quando for novamente misturado com outros ingredientes. Um composto final é o resultado da misturação e é um *input* para a próxima fase da produção, ou seja, a preparação de materiais. Os equipamentos utilizados para obter compostos são os misturadores e podem ser **simples** ou **Tandem**.

Para além dos compostos finais obtidos através de compostos *master*, existe também o processo de produção OSM (*One Step Mixer*), que tem como objetivo produzir compostos finais diretamente a partir das matérias primas. Este processo é apenas possível nos misturadores *Tandem*, representado na figura 2.9.



Figura 2.8: Misturador simples [7]

Explicando sumariamente funcionamento de um misturador com base na figura 2.8, este começa com a entrada de matérias primas (i.e. borracha, compostos *master* ou *rework* - ver 2.5 - e pigmentos) pela porta de alimentação, através de uma passadeira rolante que efetua a pesagem dos ingredientes a colocar no misturador.

Após a entrada dos ingredientes, são adicionados os enchedores e óleos. Os elementos são forçados a entrar numa câmara de misturação através da pressão gerada pela atuação do martelo (sistema hidráulico composto por 4 cilindros), que poderá atingir os 220 Bar. O composto é seguidamente misturado através da rotação de dois rotores com asas que giram em sentidos opostos a velocidades iguais. O martelo, câmara de misturação e rotores são elementos refrigerados através de canais internos de circulação de água a uma temperatura pré-definida e controlada por unidades TCU (*Temperature Control Unit*).

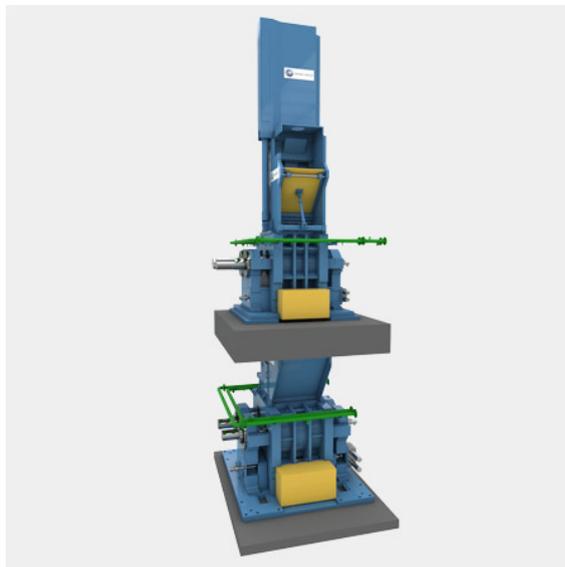


Figura 2.9: Misturador *Tandem* [7]

Os misturadores *Tandem*, figura 2.9, podem ser utilizados para produzir compostos *master* e finais (através de compostos *master* ou matérias primas), mostrando uma grande versatilidade e aumento da produtividade em relação aos misturadores simples. Este misturador permite adicionar novos ingredientes no patamar entre as duas câmaras de misturação que possui, e misturá-los com o composto proveniente da primeira câmara, obtendo-se deste modo um composto final em apenas um processo de misturação e sem necessidade de armazenamento de compostos *master*. Depois de estar completo o processo de misturação, o composto é libertado pela porta de descarga (localizada no fundo do misturador), onde está acoplada uma extrusora, que é um equipamento constituído por duas roscas sem fim que rodam em direções opostas e com velocidade variável, tendo como objetivo homogeneizar o composto e "empurrá-lo" para a calandra.

A calandra é um equipamento que consiste num sistema de dois rolos sobrepostos que rodam em sentidos opostos a uma velocidade variável, e que tem a função de perfilar o composto numa folha contínua de espessura regulável e largura pré-definida.

Estes dois equipamentos encontram-se acoplados, conforme a figura 2.10.



Figura 2.10: Conjunto extrusora e calandra [7]

Após o composto sair da calandra, perfilado em forma de folha contínua, torna-se necessário aplicar um soluto anti-aderente para facilitar o seu empilhamento e armazenamento. Este soluto é aplicado no composto através de um banho em que este mergulha após sair da calandra. Ao sair da calandra, o composto encontra-se a altas temperaturas, que podem atingir os 150°C. No entanto para o empilhamento do composto, é necessário garantir que a temperatura não ultrapasse os 40°C. Para esse efeito e para secar o soluto impregnado, o composto passa por uma unidade de *batchoff*, que consiste num sistema acumulador de folha contínua automático, que ao funcionar juntamente com vários ventiladores laterais permitem o seu arrefecimento e secagem. Este sistema encontra-se representado na figura 2.11.



Figura 2.11: Sistema *batchoff* - arrefecimento de borracha [8]

De modo a concluir o processo de misturação de *masters* ou finais, é necessário armazenar o composto. O armazenamento é efetuado através de um empilhamento horizontal de forma automática, utilizando uma paleta como ilustrado na figura 2.12. De seguida, a paleta em que se encontra a borracha empilhada é devidamente identificada e armazenada num HBS (*High Bay Storage*).



Figura 2.12: Empilhamento da borraca [8]

Com a junção dos equipamentos apresentados obtemos uma linha de misturação, que se encontra representada na figura 2.13, na qual em adição aos equipamentos representados, estão também os silos de enchedores e óleos.

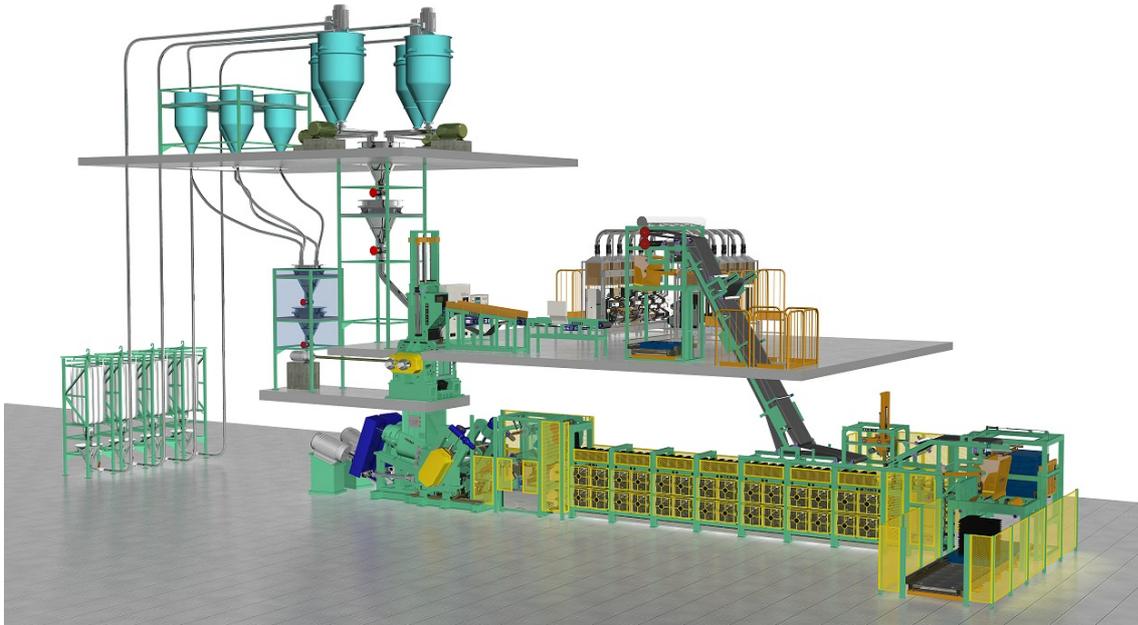


Figura 2.13: Representação de linha de misturação (singular) completa [8]

## 2.5 Enquadramento do problema

No contexto apresentado em 2.4, o problema situa-se na fase do processo em que é necessário alimentar o misturador com matérias primas, pela porta de alimentação (ver figura 2.8).

De modo a fazer entrar matérias primas para o misturador, com foco na borracha em blocos (natural e sintética - 2.3.1), existe um tapete de alimentação, controlado de forma automática ou manual, que transporta a carga necessária para a receita em execução e, após abrir a porta de alimentação, efetua a descarga dessas matérias primas, fazendo atuar a respetiva passadeira rolante. Na figura 2.14 pode-se observar o sistema descrito, com uma carga (de ora em diante designado por *batch*) de blocos de borracha pronta a entrar no misturador.

O problema consiste em melhorar a forma como a carga é carregada na passadeira rolante, que atualmente é um processo com capacidade de melhoria da ergonomia e com potencial redução do erro humano. Esta situação será abordada com mais detalhe em 3.



Figura 2.14: Alimentação ao misturador [9] - adaptado

Para além de blocos de borracha, este módulo de alimentação carrega também compostos *master*, *Workoff* (material constituído por mais do que um composto, proveniente da preparação e/ou construção) e *Rework* (material constituído pelo próprio composto, proveniente da preparação).



## Capítulo 3

# Descrição do problema

O problema proposto consiste na criação de um módulo de apoio a uma célula fabril. Célula onde são colocados blocos de borracha (2.3.1) e sacos de pigmentos (2.3.3) para pesagem e preparação de *batch* para posterior misturação.

### 3.1 Situação atual

Os blocos chegam à célula de alimentação do misturador em paletes *GoodPack* (figura 3.2), de onde são retirados para serem cortados e/ou colocados numa balança e seguem para o misturador. Uma ilustração do layout da célula encontra-se na figura 3.1.

Depois das paletes colocadas no local designado da célula, os operadores começam o processo de preparação do *batch*.

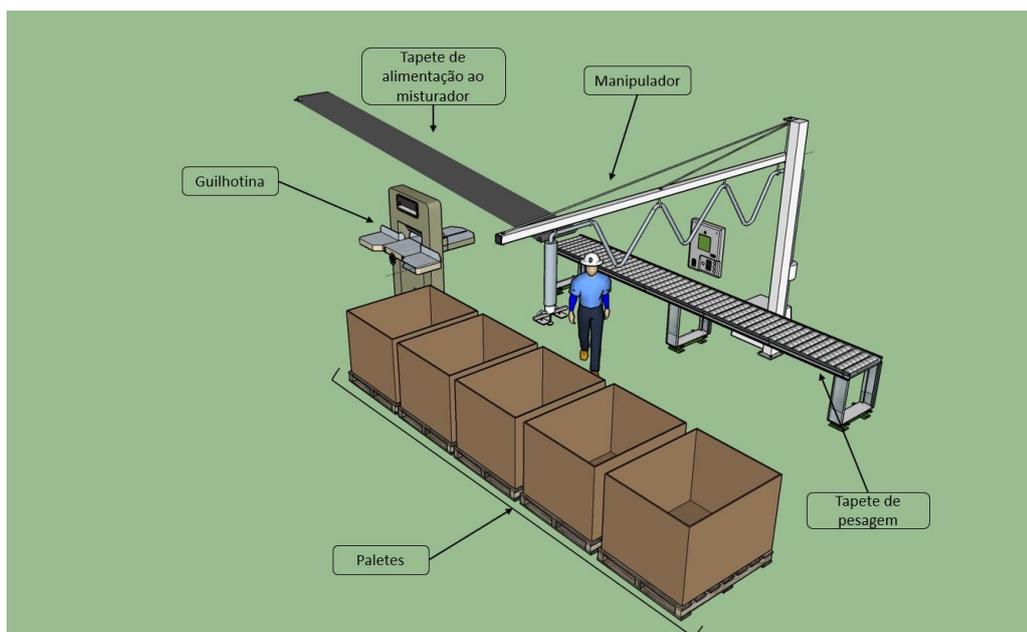


Figura 3.1: Situação atual da célula de alimentação de matérias primas

As paletes do tipo *GoodPack* são paletes modulares com paredes laterais, o que permite o firme acondicionamento da borracha, bem como retirar as paredes se necessário. Atualmente os operadores retiram manualmente uma das paredes de modo a facilitar a despaletização.



Figura 3.2: Pallet *GoodPack*

As cargas a preparar são definidas por receitas pré-definidas, indicadas por ordens de produção diárias. Cada receita pode conter entre 1 a 5 elementos diferentes de borracha, com diferentes quantidades para cada um destes elementos. Em função disso, o operador posiciona manualmente as diferentes paletes (uma por elemento) junto do transportador com pesagem (figura 3.3). De seguida o sistema indica o elemento a colocar na balança (i.e. transportador com pesagem) e respetiva quantidade em quilogramas. O operador transporta o bloco respetivo da paleta até ao tapete e quando o pousa o sistema atualiza a quantidade em falta, caso tenha sido completa a quantidade (com uma determinada tolerância), o sistema indica o próximo elemento da receita a carregar.



Figura 3.3: Transportador com pesagem

Os blocos são despaletizados com recurso a um manipulador a vácuo (constituído por uma lança e um *gripper* - parte que agarra o bloco), apresenta na figura 3.4. O *gripper* é constituído por duas ventosas a vácuo, com um conjunto de 3 fixadores, que espetam no bloco, para o manterem o bloco estável durante o movimento. Estes componentes são visíveis na figura 3.4b.

Além da fixação ao bloco, o sistema não exige esforço humano para levantar e baixar o bloco, sendo esta função accionada através de uma alavanca.



(a) Corpo do lança

(b) *Gripper* a vácuo

Figura 3.4: Exemplos de blocos de borracha utilizados na misturação

As receitas precisas e o peso de cada bloco (constante por elemento) obrigam a que em grande parte das situações se proceda ao corte da borrachas para obter o peso requisitado, ou seja, se uma receita contém 76 Kg de um elemento em que os blocos pesam 35 Kg cada, o operador terá que colocar na balança 2 blocos mais uma fração de, aproximadamente, 17% de outro bloco.

O corte do bloco é feito com recurso a uma guilhotina hidráulica, representada na figura 3.5. Esta guilhotina possui a lâmina aquecida de modo a facilitar o corte de material, principalmente no inverno, pois devido ao frio a borracha pode por vezes congelar, o que dificulta o processo de corte. Para accionar a guilhotina é necessário que o operador prima dois botões, um com cada mão, de modo a prevenir acidentes e garantir a segurança.



Figura 3.5: Guilhotina hidráulica para corte de blocos de borraha [10]

Usualmente, os operadores fazem uma preparação do materiais a usar na próxima receita (i.e. a executar no próximo turno ou próximas horas), e esta preparação consiste no corte de blocos de paletes inteiras em frações de bloco, que coincidem com as frações necessárias para a receita a usar posteriormente. Deste modo, o tempo de carregamento do *batch* aquando da realização da receita diminui, uma vez que o operador não necessita de transportar o bloco até à guilhotina, cortar e voltar a colocar na balança. A fração a que é cortado o bloco é definida pelo operador através do seu *know-how* de trabalho diário, pelo que por vezes a fração cortada não é compatível com a necessitada, por pequenas diferenças. Como a tolerância de peso de um elemento tem um valor fixo, é necessário ajustar o peso dos blocos em algumas gramas, ou eventualmente quilogramas, para isso os operadores utilizam uma faca para cortar o excesso de material depois de o colorarem na balança.

Todas as operações de movimentação de paletes e de despaletização realizadas pelo operador são manuais, sendo que existem três equipamentos principais de suporte: o empilhador, a lança com o *gripper* e a guilhotina para corte dos blocos.

### 3.1.1 Análise do processo

Efetuiu-se uma análise mais detalhada do processo e dos tempos que cada uma das fases comporta, de modo a compreender melhor o sistema.

O processo de carregamento dos blocos para a o sistema pode ser sub-dividido em três fases (figura 3.6), o *setup* de material, que consiste em cortar blocos de paletes inteiras de modo a reduzir o tempo de carregamento no momento da execução da receita, a colocação dos materiais e validação no sistema (i.e posicionamento das paletes) e a própria execução da receita.

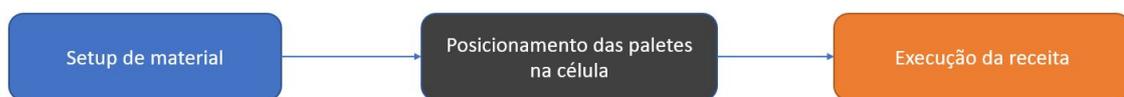


Figura 3.6: Fases do processo de carregamento de blocos de polímeros

#### 3.1.1.1 Setup de material

O *setup* de material envolve logística de transporte das paletes, preparação da paleta, corte de material e reposicionamento do mesmo.

Para melhor compreensão deste processo realizou-se um levantamento dos tempos médios relevantes que cada uma das sub-fases comporta, através da cronometragem, em fábrica, para cada tarefa. Estes encontram-se documentados na tabela 3.1.

Tarefa	Descrição	Duração
1	Verificar materiais necessários para execução da próxima receita.	
2	Cortar bloco se a receita não for compatível com o tamanho original da borracha.	
2.1	Posicionar e abrir palete junto da guilhotina com o empilhador.	
2.2	Cortar os blocos necessários, geralmente em 2/3 partes.	27s (Tempo para um bloco)
2.2.1	Pegar no bloco e colocar na máquina de corte.	8s
2.2.2	Accionar a guilhotina para cortar o bloco.	7s
2.2.3	Posicionar as partes cortadas numa paleta auxiliar.	12s
3	Armazenar paleta.	

Tabela 3.1: *Setup* de material

Na tabela 3.1, apenas se mediu os tempos para o ponto 2.2 porque é o ponto que define a operação de carregamento dos blocos, ou seja, que possui mais interesse para o caso a estudar, e é também o mais estável. Assume-se o tempo de corte de um bloco em duas partes. Caso o corte seja efetuado para três partes o tempo de accionar a guilhotina aumenta cerca de 5 segundos, e o tempo de posicionamento 3 segundos. Através da análise da tabela 3.1 podemos calcular tempo médio de corte de uma paleta. Para um exemplo de uma paleta com 30 blocos inteiros (situação típica), seria necessário  $30 * 27 \text{ segundos}$ , ou seja,  $810 \text{ segundos} = 13,5 \text{ minutos}$  para preparar uma paleta de frações de 50%. Caso se tenha que cortar três paletes em frações de 50% e uma em frações de 33,3% para execução de uma receita, este tempo ascende facilmente a 45 minutos apenas para a tarefa 2.2

### 3.1.1.2 Posicionamento das paletes na célula

As paletes com borracha encontram-se em *stock* numa zona próxima da célula em questão, sendo que admite-se que nunca existe falta de *stock* de matérias primas nesse respetivo local para a execução das receitas.

Esta fase do processo comporta 4 tarefas, que dizem respeito à logística inerente à execução da receita (estas tarefas estão representadas na figura 3.7).



Figura 3.7: Tarefas da fase de posicionamento das paletes na célula

As paletes são posicionadas na célula como representado na figura 3.1, e nesse posicionamento podem estar presentes de uma a cinco paletes, dependendo da receita.

A abertura das paletes consiste em retirar uma folha de plástico que envolve o conjunto dos blocos e em retirar uma das paredes da paleta de modo a facilitar a retirada de blocos, conforme a figura 3.8.



Figura 3.8: Pallet com uma camada restante, na posição de despaletização

Cada paleta tem atribuída uma folha que a identifica que se encontra colada na lateral (presente na figura 2.7b - folha amarela). Quando se utiliza determinado elemento numa receita é obrigatório ler o código de barras presente nessa folha de modo a registar o elemento utilizado para efeitos de rastreabilidade de matérias primas e qualidade da receita. Para a leitura o operador utilizar um *scanner* manual de códigos de barras 1D, figura 3.9.



1234567895

(a) Tipo de código presente nas paletes



(b) Exemplo de leitor utilizado pelos operadores

Figura 3.9: Leitura de códigos de barras das paletes

### 3.1.1.3 Execução da receita

As tarefas da execução da receita estão representadas na figura 3.10.

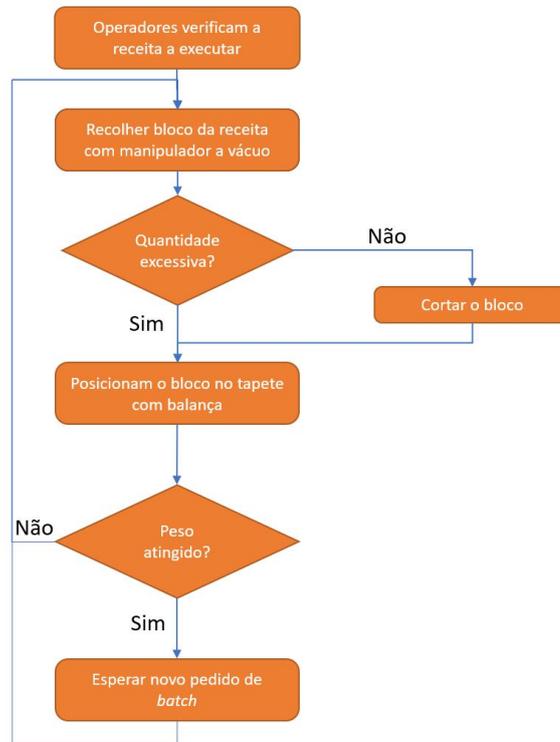


Figura 3.10: Tarefas da fase de execução da receita

A execução da receita é a fase do processo mais crítica em termos de requisitos temporais. Estes encontram-se definidos pelo tempo de ciclo do misturador, ou seja, o intervalo de tempo entre cargas.

Os operadores têm que garantir que o tempo de carregamento é cumprido para qualquer receita para que não haja um atraso na capacidade máxima de produção, ao qual corresponde o tempo de ciclo associado. O tempo de ciclo do misturador está fixado em 180 segundos, sendo que deste tempo os operadores têm 120 segundos para fazer todo o carregamento de um *batch*, independentemente da receita.

Procedeu-se ao levantamento dos tempos de carregamento de *batch* de receitas diferentes, tendo-se chegado aos dados da figura 3.11.

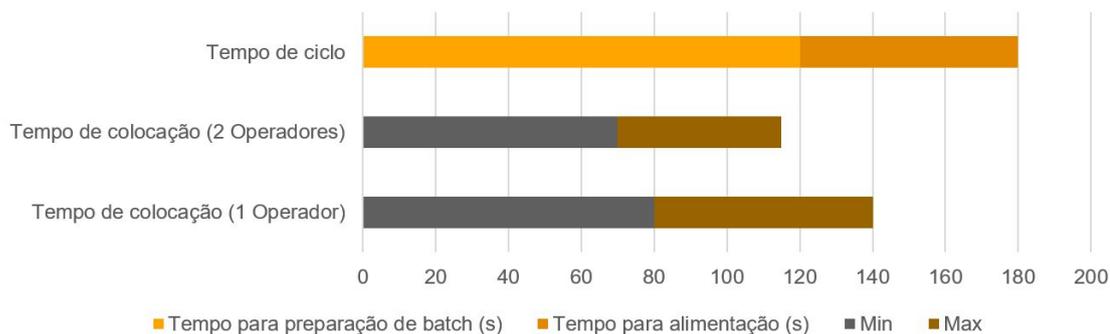


Figura 3.11: Requisitos e situação temporal da execução da receita

Existem tipicamente dois operadores por célula de alimentação, que dividem o trabalho entre a preparação da carga e logística dos materiais (recolha de paletes vazias, posicionamento de novas paletes). Por vezes, quando apenas se encontra um operador a preparar o *batch*, o tempo máximo de preparação (120 segundos) é excedido, podendo causar atraso na produção do misturador, situação presente na figura 3.11.

Na tabela 3.2 encontram-se registados os tempos médios para as ações elementares executadas pelos operadores no momento da execução da receita. Estes dados servirão de base para o capítulo 4.

Tarefa	Descrição	Duração
1	Recolher bloco da receita com manipulador.	
1.1	Dirigir-se com o manipulador a vácuo ao respectivo elemento da paleta.	4s
1.2	Pegar na bloco com o manipulador e transportar até à balança.	6s
1.3	Se Elemento colocado estiver fora dos limites de tolerância, operador corta o bloco ou coloca mais material.	8s
2	Balança aprova o peso e volta à Tarefa 1.1 até o <i>batch</i> estar completo.	
2.1	Quando o peso está entre os limites de tolerância, a balança indica um novo peso, correspondente ao próximo material do <i>batch</i> .	3s
3	Volta à Tarefa 1.	

Tabela 3.2: Execução da receita

### 3.1.2 Materiais envolvidos

As principais restrições que ditam a despaletização dos blocos dizem respeito ao tipo de material a tratar, ou seja, o polímero com o qual se trabalha.

Devido ao elevado número de receitas executadas no misturador, este processo tem que lidar com vários tipos de polímeros diferentes, com características diferentes. Para o efeito, foi realizado um levantamento do padrão de paletização dos elementos presentes na célula, bem como de características relevantes para o processo.

#### 3.1.2.1 Dimensões e Características

Foi efetuado um levantamento das características das matérias primas utilizadas numa célula de alimentação. Existem 11 tipos de paletes diferentes segundo documentação do armazém. No entanto nos elementos presentes no levantamento efetuado, apenas existiam 2 tipos de paletes, sendo que apenas um elemento é que possuía o segundo tipo, os outros possuíam o tamanho *standard* da paletes *GoodPack*. As dimensões documentadas dos diferentes tipos de paletes existentes encontram-se na tabela 3.3.

Tipo	Dimensões Brutas		
	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
A	1110	1470	1150
B	890	1210	810
C	1160	1200	1000
D	960	1200	800
E	970	1620	1170
F	1070	1460	1130
G	1100	1480	1150
H	1000	800	1200
I	1050	1220	960
J	1100	1100	1100
K	1500	1150	1090

Tabela 3.3: Dimensões dos vários tipos de paletes

As paletes *GoodPack* tem as dimensões correspondentes à letra A na tabela 3.3. E como podemos constatar na tabela 3.4. Os elementos foram codificados com nome C1 a C12, sendo que o verdadeiro nome não é relevante para o trabalho.

Elemento	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Tipo de palete	Quantidade por camada	Peso
C1	650	340	170	A	6	35
C2	680	330	170	A	6	35
C3	550	360	190	A	8	35
C4	660	370	170	A	6	35
C5	700	300	200	A	6	35
C6	710	380	180	A	8	35
C7	740	370	170	A	6	20
C8	770	400	110	B	3	35
C9	710	370	170	A	6	35
C10	720	390	160	A	6	35
C11	540	360	180	A	6	35
C12	730	360	180	A	6	25

Tabela 3.4: Blocos de borracha identificados em *stock* na célula

Através da análise destes dados, podemos concluir que o sistema trata blocos de borracha com dimensões de:

- **Comprimento** entre 550mm e 770mm.
- **Largura** entre 330mm e 400mm.
- **Altura** entre 110mm e 130mm.

Para além das dimensões dos blocos, o peso situa-se e entre os **20 Kg** e os **35 Kg**, nunca excedendo este patamar.

Existem outras características importantes que definem a variabilidade dos blocos:

- Em termos de **espaço** os blocos podem estar compactados ou espaçados (esta característica depende da forma e do padrão de paletização do fornecedor). Alguns dos blocos em certos elementos, especialmente durante o inverno, podem ficar colados aos blocos vizinho, o que implica um adicional de força sobre os blocos vizinhos pelo operador para conseguir despaletizar.
- A **superfície** pode ser rugosa ou lisa, tipicamente a borracha natural e sintética, respetivamente.
- A **forma** dos blocos pode ser irregular (tendo divergências ao formato de um paralelepípedo) ou regular.

Todos os blocos são revestidos com uma película, a qual não interfere no processo de misturação. As camadas de blocos estão também separadas por uma folha de plástico, a qual tem que ser retirada para se proceder à despaletização de uma nova camada.

### 3.1.2.2 Padrão de paletização

Os blocos de borracha encontram-se paletizados por camadas, ou seja, por sucessivos padrões que ocupam a área correspondente ao fundo da paleta.

Um tipo específico de borracha de um determinado fornecedor tem um padrão de paletização associando, estes padrões são repetidos para vários elementos e efetuou-se um levantamento, pois considera-se informação relevante para o processo.

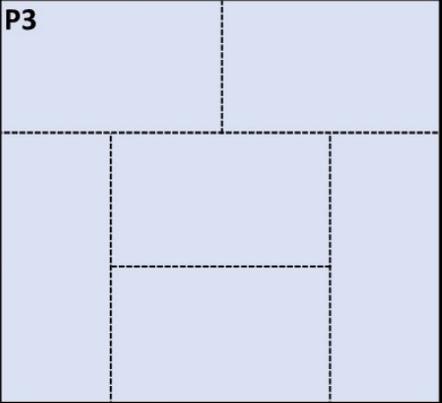
Disposição Camada/Orientação	1 orientação	2 orientações
3 p/ camada	<b>P1</b> 	
6 p/ camada	<b>P2</b> 	<b>P3</b> 
8 p/ camada	<b>P4</b> 	<b>P5</b> 

Figura 3.12: Padrões de paletização existentes

Os padrões foram identificados de **P1** a **P5**. Na tabela 3.5 estão representados os padrões associados a cada elemento.

Elemento	Padrão
C1	P3
C2	P3
C3	P2
C4	P4
C5	P3
C6	P3
C7	P5
C8	P3
C9	P1
C10	P3
C11	P3
C12	P4
C13	P3

Tabela 3.5: Padrões de paletização de cada elemento

Pode-se observar que o padrão tipicamente mais usado é o **P3**, que consiste numa disposição de seis blocos por camada em duas orientações.

### 3.1.2.3 Receitas

Atualmente existem 13 receitas que são executadas na célula analisada. No entanto está prevista a adição de mais quatro. Na tabela 3.6 estão presentes as receitas utilizadas para o fabrico de vários compostos, nela estão indicados os pesos de cada elemento por *batch* que tem que ser carregado para a balança.

Receita	Nº Paletes na alimentação	POLIMEROS (Kg)																	
		C1	C6	C12	C4	C5	C9	C7	C10	C11	C2	C8	C3	NA	NA	NA	NA	NA	
R1	4	76	48,7	45,3	40,3														
R2	3					124,2	53,2	44,3											
R3	4						20,3	40,5	83,7	81,1									
R4	2					52,3					175								
R5	1									335,5									
R6	2					86,8			141										
R7	2										44	193,5							
R8	2										59,9	200,5							
R9	2						48			192									
R10	3						30,5	60,9		111,5									
R11	3									28,5			92,8	37,5					
R12	3									34,5		35,2				153,3			
R13	2						54,2			192,3									
R14	5			89		89	24,73										49,45	44,72	
R15	3							158,36			90,67								17,54
R16	4			97,86			29,64	47,35		121,54									
R17	3			26,3						105,6		132							

Tabela 3.6: Receitas com elementos e quantidade

As receitas com fundo escuro, na tabela 3.6, são receitas futuras, ou seja, que não se encontram em produção atualmente.

Os polímeros com designação **NA** são elementos que não foram identificados por não constar em *stock*, o que significa que aquando da realização da dissertação essas receitas não foram produzidas. Isto pode ser devido ao tipo de produção sazonal, pois normalmente a fábrica produz pneus de verão durante o inverno e vice versa.

O **Nº de Paletes na alimentação** define o número mínimo de paletes que o operador deve ter na célula para preparação dos *batch*, ou seja, é o número de elementos diferentes que constituem a receita.

Analisando cinco situações exemplificativas, as receitas R2, R3, R6, R10, podemos transformar o peso indicado em unidades de bloco, dividindo o peso necessário pelo peso de um bloco, indicado em 3.4.

Receita	Nº Paletes na alimentação	Nº de blocos				
		C5	C9	C7	C10	C11
R2	3	3,55	1,52	2,02		
R3	4		0,58	2,03	2,39	2,32
R6	2	2,48			4,03	
R10	3		0,87	3,05		3,19

Tabela 3.7: Receitas com elementos e quantidade

O sistema possui um conjunto de parâmetros que definem as tolerâncias permitidas para a pesagem de blocos. Estes parâmetros estão representados na tabela 3.8.

Quantidade de elemento (Qr)	Tolerância
$Qr < 8 \text{ kg}$	$\pm 10\%$ de Qr
$8 \text{ kg} \leq Qr \leq 20 \text{ kg}$	$\pm 0,8 \text{ kg}$
$20 \text{ kg} \leq Qr \leq 100 \text{ kg}$	$\pm 1,0 \text{ kg}$
$Qr > 100 \text{ kg}$	$\pm 1\%$ de Qr

Tabela 3.8: Tolerância de pesagem

Através destes valores, e de modo a facilitar a preparação do *batch*, a tabela 3.7 é corrigida para a tabela 3.9, ou seja, através das tolerâncias pelo menos um dos elementos não necessita de frações de bloco. As receitas são planeadas de modo a terem o menos número de blocos fracionados.

Receita	Nº Paletes na alimentação	Nº de blocos (Kg)				
		C5	C9	C7	C10	C11
R2	3	3,55	1,5	2		
R3	4		0,58	2	2,39	2,33
R6	2	2,5			4	
R10	3		0,87	3		3,2

Tabela 3.9: Receitas com elementos e quantidade ajustada

O ajuste foi feito de modo a otimizar o número mínimo de blocos parciais e também de modo a tentar que os blocos fracionados sejam divididos em partes iguais, ou seja, 20%, 33% e 50%.

## 3.2 Objetivos e Requisitos

### 3.2.1 Objetivos

Pretende-se automatizar o processo descrito em 3.1, de modo obter e maximizar vários pontos importantes:

- Melhorar a ergonomia.
- Melhorar a rastreabilidade de matéria prima.
- Reduzir o trabalho manual.
- Melhorar a qualidade das receita.
- Diminuir o tempo de preparação do *batch*.

O objetivo é criar um módulo de alimentação da célula, sem modificar o layout existente (apenas a adição, e não alteração/remoção de equipamentos), que melhore os pontos referidos. Será necessário a criação de um layout para o módulo em questão, com especificação de equipamentos, tecnologias e arquitetura de controlo.

Fazendo-se uma análise de automação para a situação atual e futura, procede-se a uma análise de níveis de automação, de forma a compreender os objetivos de uma forma geral. Segundo [24], podemos atribuir um nível de automação de um determinado tipo de trabalho, que resulta da alocação de tarefas de todo o tipo entre operadores e máquinas. Podemos relacionar a necessidade de operadores para determinadas tarefas tendo em conta o *LoA (Level of Automation)* referido. Para um nível 7, por exemplo, mantendo o operador a numa tarefa de supervisão, estaríamos a duplicar trabalho.

Embora a automação tenha origem principalmente na necessidade de aumento de produtividade da indústria, e da redução de custos de mão de obra (principalmente em países mais desenvolvidos em que os salários mínimos e médios são mais altos, razão pela qual os investimentos feitos em equipamentos são rapidamente amortizados), nesta situação o foco não é a redução de mão de obra, mas sim as outras características já referidas, em particular a ergonomia de trabalho. A lança (figura 3.4) utilizada exige ao operador um esforço em controlar as oscilações laterais desta quando está a pegar num bloco. Acumulando este esforço ao longo de um turno, e durante vários dias, existe a possibilidade de complicações de saúde. Para além de que muitas das vezes, quando os blocos têm dimensões reduzidas e/ou estão dois operadores a realizar a tarefa de carregamento, pegam nos blocos sem qualquer apoio e apenas com força muscular, o que pode acelerar as complicações referidas.

LoA	Mecânica e Equipamentos
1	<b>Totalmente manual</b> - Trabalho totalmente manual, nenhuma ferramenta é usada, apenas capacidade muscular os operadores. (Exemplo: Poder muscular)
2	<b>Ferramenta estática</b> - Trabalho manual com o suporte de uma ferramenta estática. Exemplo: (Chave de fenda)
3	<b>Ferramenta flexível</b> - Trabalho manual com o suporte de uma ferramenta flexível. Exemplo: (Chave inglesa)
4	<b>Ferramenta automática</b> - Trabalho manual com o suporte de uma ferramenta automática. (Exemplo: Aparafusadora pneumática)
5	<b>Máquina/Estação de trabalho estática</b> - Trabalho automático por uma máquina construída para a tarefa. (Exemplo: Torno mecânico)
6	<b>Máquina/Estação de trabalho flexível</b> - Trabalho automático por uma máquina que pode ser configurada para várias tarefas. (Exemplo: Máquina CNC)
7	<b>Totalmente automático</b> - Trabalho totalmente automático, a máquina executa todas as funções, desvios ou problemas que ocorram. (Exemplo: Sistema autónomo)

Tabela 3.10: Níveis de automação [24] - adaptado

Através da análise tabela 3.10, podemos constatar que a situação atual situa-se num *LoA* de 4, pois existe um equipamento de apoio ao operador (lança com *gripper*) que pode ser considerada uma ferramenta automática.

Pretende-se desenvolver um sistema que corresponda a um *LoA* entre 6 e 7, ou seja, um sistema parcial ou totalmente automático, mas que no entanto não dispensa o trabalho do operador. Que obrigatoriamente terá a função de carregar os *inputs* (i.e. borracha) no sistema e de supervisão, ou necessidade de intervenção manual.

### 3.2.1.1 Rastreabilidade de matérias primas

Outra necessidade é a melhoria da rastreabilidade de matérias primas. Já existe atualmente um mecanismo de rastreabilidade através da leitura de códigos de barras quando uma determinada palete é utilizada, no entanto são necessários mecanismos de redundância de identificação para impedir situações em que a possibilidade de potencial erro humano. Estas situações podem acontecer quando existem problemas na identificação das folhas da paleta (quando se corta uma paleta inteira é necessário uma paleta auxiliar), ou seja, ler o código de barras correto não garante que se está a utilizar o elemento correto. A ocorrência desta situação incorre de prejuízos monetários e de produção.

### 3.2.1.2 Qualidade das receitas

Na fase de pesagem dos blocos, o sistema possui uma tolerância de peso para os elementos da receita que se processa como indicado na tabela 3.8. Com novos mecanismos existe uma motivação de reduzir esta tolerância o mais possível, de modo a obter um composto mais fiável e com o menor erro de desvio à receita. Para além disto, pode ser melhorada a imunidade a fatores externos de erro humano. Para não existir prejuízo da qualidade do composto, que pode gerar não-conformidades.

### 3.2.1.3 Tempo de preparação do *batch*

Como referido na figura 3.11, o tempo de ciclo do misturador é de 180s, enquanto que o tempo de preparação do *batch* é de 120s. O tempo de carregamento depende de vários fatores:

- Número de operadores
- Tipo de receita
- Peso da receita
- Temperatura, que influencia a compactação dos blocos
- Micro-paragens do operador
- Tempo para reposição de paletes

E como já se constatou, por vezes a preparação do *batch* ultrapassa a marca dos 120s, no caso em que está só um operador a carregar.

O tempo de carregamento deve ser pré-determinado e constante por receita, de modo a ter um comportamento determinístico. Existe uma proposta de redução do tempo de ciclo do misturador para 120s, de modo a substituir os atuais 180s, o que exigiria uma maior rapidez de preparação de *batch*.

### 3.2.2 Requisitos

Com base nos objetivos referidos em 3.2.1 e na situação atual da célula, 3.1, criou-se um conjunto de requisitos que o sistema a ser desenvolvido deverá cumprir. Estes requisitos compreendem os seguintes pontos:

- Despaletização de matéria prima
- Tempo de carregamento do *batch* inferior a 120 segundos
- Capacidade de carregar 5 tipos de matérias primas diferentes
- Integração de corte do polímero, manual ou automático
- Integração no espaço disponível
- Mecanismo de identificação de matérias-primas

O layout a projetar deve respeitar o espaço disponível na célula e deve possuir um comportamento modular, ou seja, caso não se pretenda que o sistema a desenvolver trabalhe, deve ser possível um modo manual para que os *batch* possam ser carregados manualmente, como ocorre atualmente.

A despaletização da matéria prima é um dos aspetos chave para o funcionamento do sistema, pois é a situação na qual há mais variabilidade de fatores, pelo que terá que ser desenvolvido um conceito para a despaletização ser eficaz e robusta, de forma a ser capaz de lidar com vários tamanhos, pesos, padrões de paletização, compactação, irregularidade de superfície e diferentes cores.

Para além destes requisitos, é ainda desejável que o sistema gaste o menor tempo possível na reposição de paletes, ou seja, quando uma paleta fica vazia é necessário a troca de paleta.

Como indicado em 3.1.2.1, em muitos elementos as camadas de blocos vêm separadas por folhas de plástico. Esta situação tem que ser integrada no requisito de despaletização, ou seja, o sistema deverá ser capaz de despaletizar os blocos automaticamente e conseqüentemente retirar as folhas entre camadas. Existe a necessidade de fazer uma separação de elementos constituintes da paleta.

#### 3.2.2.1 Corte de blocos

Em 3.1.1 abordou-se a necessidade de corte dos blocos para execução apropriada da receita. Esta situação tem um impacto significativo no processo, ou seja, não se consegue realizar as receitas sem o corte de blocos. Terá também que se decidir se esta fase do processo continuará manual ou será automática, e de que forma. Caso se opte por uma solução automática, comportar-se-á da forma representada na figura 3.13.

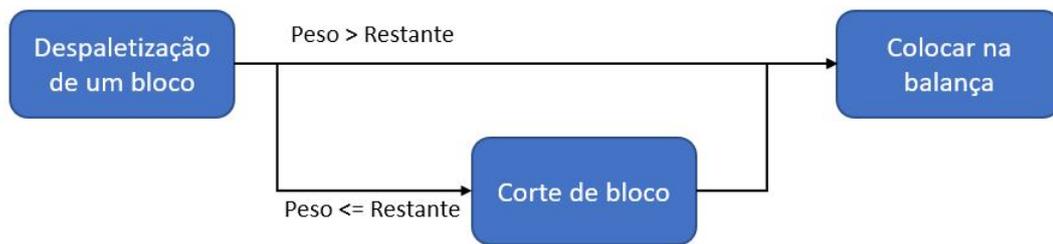


Figura 3.13: Fluxo do corte automático

Caso se decida pelo contrário, o corte de blocos de forma manual, o operador deve fazer um *setup* de material de modo a dar como *inputs* ao sistema os blocos necessários no peso correto, incluindo frações de blocos cortados na proporção certa para cada *batch*. A situação de corte de frações exatas com os equipamentos atuais pode ser de difícil execução pois não existe forma de saber o ponto exato de corte do bloco necessário.



## Capítulo 4

# Estudo do *layout*

### 4.1 Abordagem ao projeto

De modo a obter um correto planeamento de trabalho, analisou-se o problema de acordo com uma perspetiva de engenharia de sistemas, com o objetivo de desenvolver um conceito de sistema. Este pode ser descrito como um "todo" que consiste num conjunto de interações entre "partes", [11]. Neste caso, o sistema consiste num conjunto de equipamentos com o objetivo de automatizar a situação descrita em 3.1.

Um sistema progride segundo um conjunto de fases do ciclo de vida, apresentados na figura 4.1, que compreendem todo o processo desde o desenvolvimento do conceito até ao seu fim de vida. O objetivo desta dissertação é desenvolver um conceito de sistema para cumprir os requisitos relatados, estando perante o desenvolvimento da primeira fase do ciclo de vida de um projeto.



Figura 4.1: Fases do ciclo de vida de um projeto - [11]

Fases do ciclo de vida	Objetivo
Conceito	Definir problema 1. Pesquisa exploratória 2. Seleção de conceito Caracterização Identificação de necessidades Explorar ideias e tecnologias Propor soluções viáveis
Desenvolvimento	Definir/redefinir requisitos do sistema Criar descrição da solução - arquitetura e design Implementar sistema inicial Integrar, verificar e validar sistema
Produção	Produzir sistema Inspeccionar e verificar
Utilização	Operar sistema para satisfazer necessidades
Suporte	Providenciar capacidade do sistema sustentavelmente
Fim de vida	Armazenar, arquivar o sistema

Tabela 4.1: Fases do ciclo de vida genéricas - [11]

Para a definição do *layout* pretendido, é necessário abordar os vários pontos descritos na tabela 4.1. A questão proposta centra-se no desenvolvimento do **conceito** do sistema, portanto sendo necessário:

- **Definir o problema**, situação abordada em 3.
- **Caracterizar e identificar necessidades**, situação também apresentada em 3.
- **Explorar ideias e tecnologias**, o qual será o objetivo do presente capítulo.
- **Propor soluções viáveis**, situação abordada no fim deste capítulo.

Posteriormente será feita uma definição da arquitetura do sistema no que diz respeito às comunicações e controlo. Deste modo a dissertação abrange toda a definição do conceito e parte da definição do desenvolvimento.

A fase de definição de conceito começou com um reconhecimento do espaço, bem como mapeamento dos processos existentes de modo a ter uma ideia clara de qual é o problema e o objetivo que se pretende alcançar. De seguida existe uma fase de estudo relativo a tecnologias ou, neste caso, equipamentos existentes que servirão o propósito do projeto.

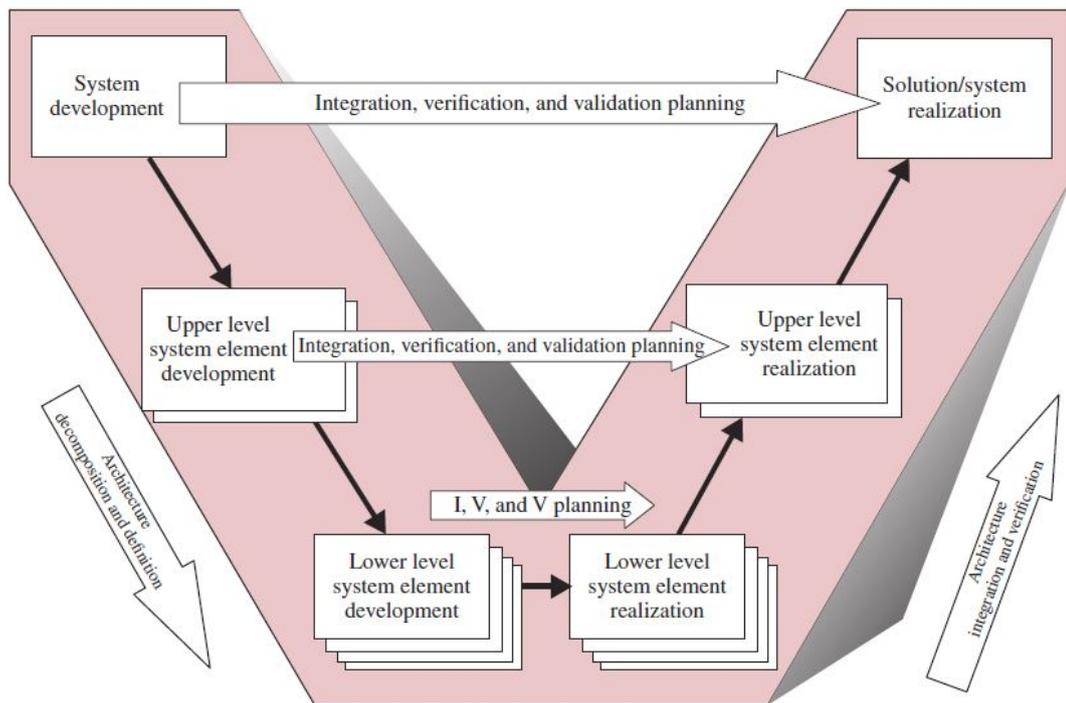


Figura 4.2: Modelo *Vee* - Método Sequencial - [11] - adaptado de [12]

Para o desenvolvimento deste projeto foi utilizada uma metodologia sequencial, que consiste num método de trabalho estável em que em cada fase do trabalho existe uma verificação com os *stakeholders* (i.e. Orientadores) e que pode ser dividido em duas fases, como indicado na figura 4.2:

1. A definição e posterior decomposição da arquitetura, ou seja, a fase conceptual e de projeto.
2. A integração e verificação

Ora, a primeira fase descrita engloba a definição do conceito e parte do desenvolvimento. Lendo a figura da numa perspetiva temporal, da esquerda para a direita, observa-se que se vai descendo de um nível de abstração maior para o detalhe, ou seja, há uma decomposição do problema em partes mais pequenas até ao maior nível de detalhe. A segunda fase destina-se à implementação e verificação do sistema.

Neste trabalho estamos na primeira fase deste modelo, e a ordem de trabalho segue a ordem de decomposição, começando pela definição do layout neste capítulo, seguidamente da definição e detalhe de equipamentos, e num nível inferior as suas comunicações e o seu controlo.

## 4.2 Planeamento de layouts

O principal objetivo de qualquer *layout* fabril a ser desenvolvido é facilitar o processo de produção, neste caso concreto de componentes dos pneus, [13]. Para cumprir este objetivo, é necessário cumprir certos pontos, entre eles:

- Minimizar manuseamento de material
- Ter flexibilidade para funcionamento em modo manual
- Reduzir custos de equipamento
- Utilizar o espaço de forma económica
- Promover segurança, conforto e conveniência aos trabalhadores

O design de layout está diretamente relacionado com: a logística de chegada de materiais à célula, o processo para que o material seja tratado da forma adequada, e o *output* final da célula em questão, ou seja, o produto final que se deseja obter, figura 4.3. Neste caso este produto consiste numa conjugação de diversos tipos de borracha com um determinado peso.

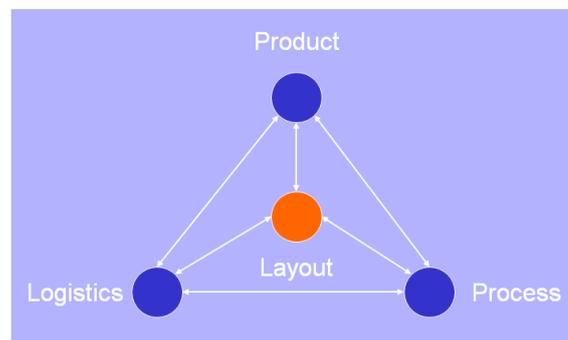


Figura 4.3: Intervenientes no projeto de um *layout*

A construção de um layout pode ser dividida em quatro fases, como representado na figura 4.4.

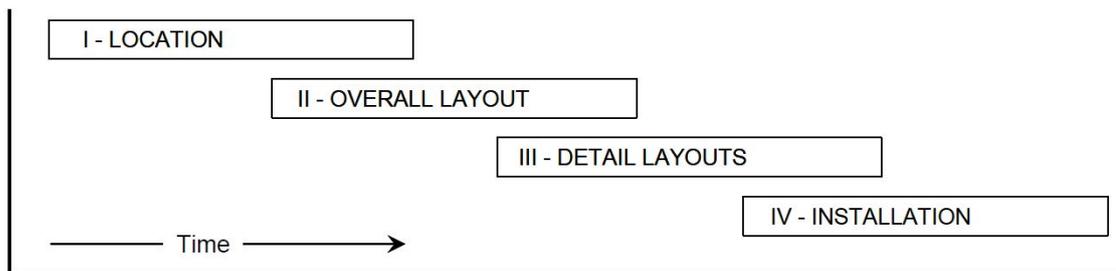


Figura 4.4: Fases do planeamento de *layouts* - [13]

- A localização determina a área onde o *layout* será instalado.
- O *layout* geral (*Overall layout*) indica o conceito geral segundo a área disponível.
- O *layout* detalhado indica o equipamento a ser utilizado, bem como a sua localização específica.
- A instalação corresponde ao planeamento, aprovação e posicionamento da mesma.

#### 4.2.1 SLP - *Systematic Layout Planning*

Segundo [13], o *Systematic Layout Planning* (SLP) é uma maneira organizada de conduzir o planeamento de um *layout*. Consiste num quadro de fases, um padrão de procedimentos e um conjunto de convenções para identificar, classificar e visualizar os elementos e áreas envolvidas no planeamento de um *layout*. Todos os *layouts* assentam em três princípios fundamentais:

- Relações – O grau relativo de proximidade desejada entre elementos.
- Espaço – A quantidade, tipo, forma ou configuração dos elementos a serem definidos no *layout*.
- Ajuste – O arranjo de elementos num ambiente realista.

O planeamento segue um processo específico definido na ferramenta, constituído por cinco secções. Começando pela análise dos *inputs* e os tipos possíveis de *layout*, seguido de uma análise dos materiais e outros envolventes relacionados, o espaço disponível *versus* o necessário, as modificações e limitações e por fim, a avaliação e aprovação. Cada uma destas cinco fases culmina num *output* que irá suportar a escolha e validação de um *layout*, como representado na figura 4.5.

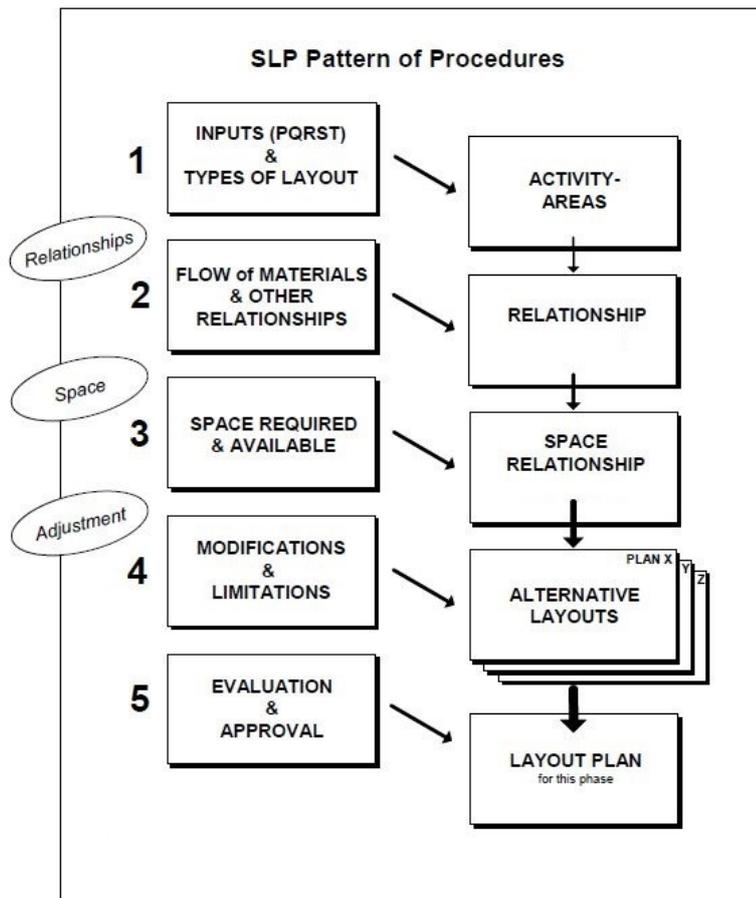


Figura 4.5: O padrão de procedimentos SLP - [13]

Após desenvolvidas e calculadas características (como o tempo de ciclo ou custo) dos *layouts*, é necessário formular uma comparação entre as diversas, opções idênticas em termos de benefícios, caso existam. Estas comparações podem ser baseadas em fatores económicos, ou seja, estudos de custos de equipamentos, manutenção e operação, bem como em todos os parâmetros do layout, como o volume de *output*, flexibilidade ou facilidade de *set-up* para novos materiais e componentes.

- **Áreas de atividade**, situação já abordada, define os objetivos do *layout* a desenvolver.
- As **Relações** definem a importância de proximidade entre equipamentos possíveis para a função, tendo em conta o fluxo de materiais.
- **Espaço**, onde será analisado e representado o espaço disponível para o *layout*.
- Será efetuada uma análise de várias **Alternativas** de *layouts*, com diferentes configurações e equipamentos.
- O **Plano de layout** será o resultado final deste processo e corresponde à melhor alternativa.

### 4.3 Layouts projetados

Tendo em consideração as fases do planeamento apresentadas em 4.2, procedeu-se ao levantamento da área disponível para a localização do *layout*.

Para o levantamento desta área, considerou-se como modelo a linha de misturação número 11 (existem 12 linhas de misturação na fábrica). Esta corresponde a uma das linhas mais recentes, do tipo *Tandem* (figura 2.9), e possui um maior espaço relativamente a outras linhas mais antigas, o que permite um nível de automação mais sofisticado/complexo.

#### 4.3.1 Relações

Após analisar o processo, podemos inferir que o sistema pode ser dividido em 3 partes:

- **Alimentação** dos polímeros em paletes junto à célula, ou seja, a colocação dos polímeros prontos a ser transportados para a balança.
- **Transporte** dos polímeros da alimentação até à balança de forma automática.
- **Corte de blocos**, que poderá ser feita de várias formas, manual ou automaticamente, situação que será analisada posteriormente.

##### 4.3.1.1 Alimentação

A zona de alimentação dos polímeros terá que estar relativamente próxima da balança, idêntica à situação atual, de modo a minimizar o máximo possível o tempo de preparação de um *batch*, que depende diretamente do tempo de transporte de um bloco. Em 3.1.2.3 chegou-se à conclusão que o número máximo de polímeros diferentes de uma determinada receita são cinco, por isso serão necessários, pelo menos, cinco elementos diferentes armazenados, em paletes, na proximidade da linha da balança. De modo a minimizar o tempo de paragem para reposição de paletes, ou seja, quando uma paleta se esgota o sistema teria que parar para o operador retirar a paleta vazia e colocar uma nova paleta no lugar respetivo, poderá existir um sistema de alimentação automático de paletes, a funcionar como um *buffer* de paletes, como ilustrado na figura 4.6. Esta situação representa um modelo pensado para facilitar e automatizar esta fase do processo.

Representado na figura 4.6, a unidade de alimentação consiste em 2 filas de paletes, ou seja, 10 posições: 5 fixas e 5 de reposição. Existe também um corredor central para o transporte das paletes entre posições que termina com uma zona de descarga.

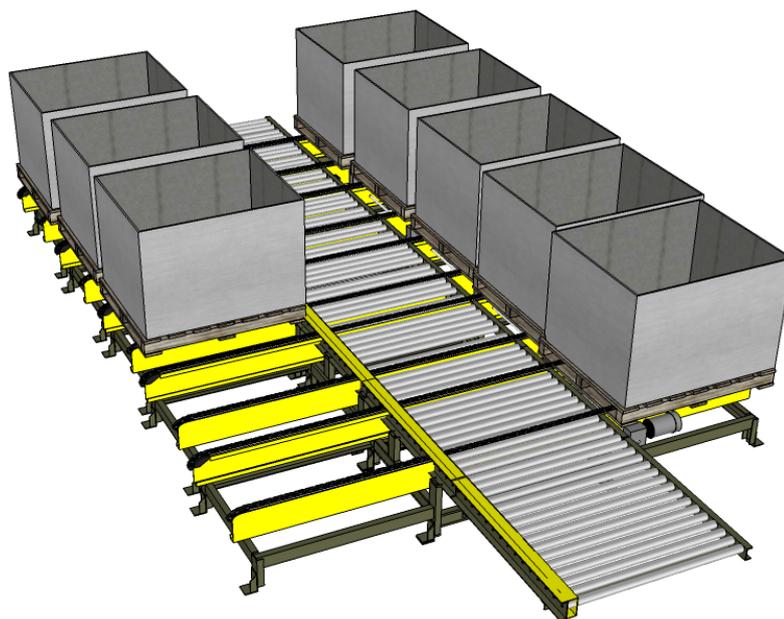


Figura 4.6: Unidade de alimentação de paletes

De qualquer modo, a alimentação pode também ser processada de duas formas:

- A situação atual, que consiste em o operador colocar as paletes manualmente com a ajuda do empilhador e efetuar reposição quando necessário.
- A integração de uma unidade de alimentação automática, como representado na figura 4.6, que permite minimizar tempos de reposição e permite uma maior flexibilidade ao operador em termos temporais para repor paletes (operação efetuada também com a ajuda de um empilhador), ou seja, as paletes vazias não precisam de ser imediatamente removidas da unidade.

#### 4.3.1.2 Transporte

Para despaletizar os blocos é necessário um equipamento, ou conjunto de equipamentos, que sejam capazes de despaletizar os blocos das paletes. Atualmente é utilizado um *grripper* a vácuo que suporta o operador nessa tarefa, representado em 3.4b. Surgiu então a ideia de utilizar este equipamento integrado num manipulador automático.

Em termos de mercado, neste momento, as abordagens mais comuns a manipuladores automáticos passam por:

- Braços robóticos

Estes têm ganho um posição no mercado cada vez mais forte devido aos seus típicos seis graus de liberdade de movimento, ou seja, movimentos de rotação e translação nos eixos cartesianos. Permitem a execução de movimentos complexos, bem como o manuseamento de materiais pesados (mais de 100 kg) com elevada precisão de movimentos.

Os fabricantes com mais cota de mercado neste segmento são a ABB (marca utilizada pela Continental), KUKA, Universal Robots, FANUC, entre outros.



Figura 4.7: Robô ABB apropriado à função - [14]

Para a situação descrita seria necessário um robô com uma capacidade de levantar objetos de pelo menos 70 Kg, uma vez que os blocos pesam no máximo 35 Kg, mas exigem picos de força maior. O robô representado na figura 4.7 tem uma capacidade de 110 Kg e é apropriado a soluções de paletização.



(a) Unidade Linear

(b) Unidade Linear Lateral

Figura 4.8: Eixo linear para expansão da área de trabalho do robô - [15]

De modo a abranger todas as cinco paletes descritas em 4.3.1.2, seria necessário um eixo linear na base no robô (*rack* para braço robótico), figura 4.8. Este eixo linear pode ser colocado no *layout* de várias formas: no chão, na lateral ou fixado ao teto.

- Robôs *Gantry*

Os robôs *gantry* são robôs baseados em pontes rolantes, ou seja, são robôs automáticos de 3 eixos, com movimentos de translação nos três eixos cartesianos e de rotação no eixo vertical. Por esta característica, possuem movimentos mais previsíveis e uma mecânica e controle mais simples, o que justifica o seu custo mais baixo.

Na figura 4.9 encontra-se um robô *gantry*, o AMI FlexMotion4, cujas características se encontram representadas na figura 4.10. Este robô tem uma capacidade de aproximadamente 450 Kg, o que é suficiente para a função e é feito à medida relativamente às suas dimensões. Existe a opção de ficar fixo no chão ou no teto, sendo que esta última opção tem mais vantagens devido a não ocupar espaço no chão de fábrica.

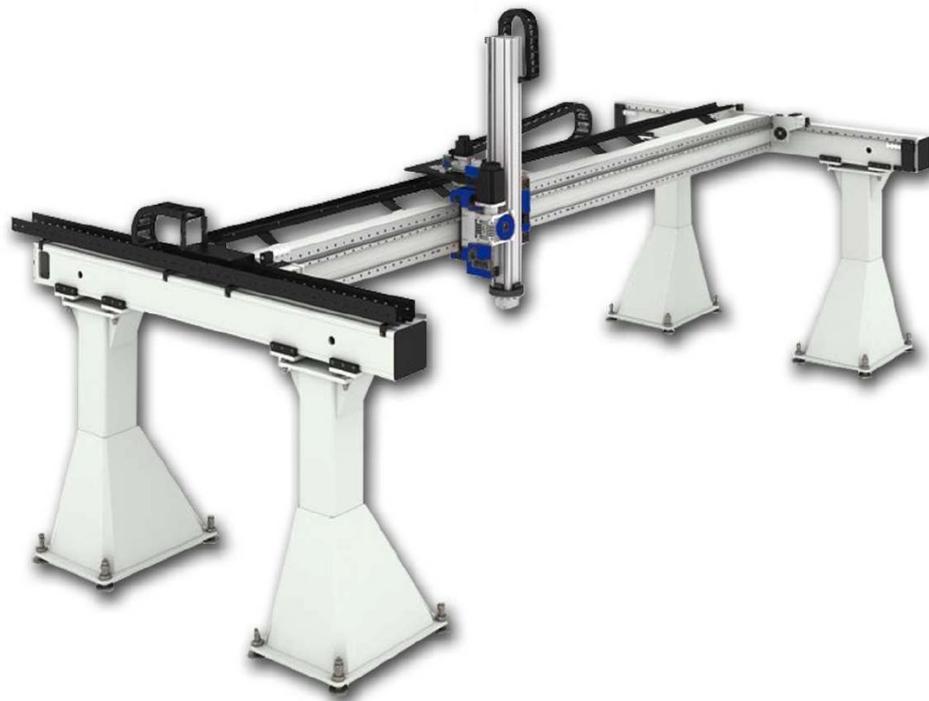


Figura 4.9: Robô gantry AMI apropriado à função - [16]

Item		Model	
		FlexMotion2	FlexMotion4
Controlled Axis		2 Axis	3 to 4 Axis
Payload		Up to 1000 lbs	
Repetitive Positioning Accuracy		0.005" / meter	
Motion Range	X-Axis	Up to 40 meters	
	Y-Axis	n/a	Up to 20 meters
	Z-Axis	Up to 4 meters	
	T-Axis	360°	
Max Speed	X-Axis	3 m/sec	
	Y-Axis	3 m/sec	
	Z-Axis	3 m/sec	
	T-Axis	90 °/sec	
Ambient Conditions	Temperature	35° - 135° F	
	Humidity	5 to 90% RH (non condensing)	
	Others	Free from corrosive gases or liquids	
		Clean and Dry	
		Free from excessive electrical noise	
		Adequate electrical ground source	

Figura 4.10: Características Robô gantry da figura 4.9- [16]

#### 4.3.1.3 Corte de blocos

Existe a opção do corte de blocos ser automático ou manual, sendo que se exploraram estas duas opções.

- O corte automático necessita de equipamentos de corte autónomos e exige uma precisão desejada de 300 gramas, sem desperdício.
- Para o corte manual não são necessários novos equipamentos de corte, e o operador executa a função de uma forma idêntica à atual.

Para o corte automático a possibilidade pensada passaria por uma guilhotina automática, ou seja, que fosse capaz de cortar o bloco sem a intervenção humana. Este equipamento existe, e encontra-se representado na figura 4.11.



(a) Vista exterior



(b) Mecanismo de fixação do bloco

Figura 4.11: Guilhotina automática PumaCut300 - [17]

A guilhotina possui um mecanismo de fixação do bloco para que o corte ocorra de uma forma precisa. Requer a indicação de um ponto de corte para o bloco, que é calculado através do *encoder* do tapete a partir do momento que o bloco atravessa um sensor óptico na lateral da posição da lâmina.

Para integração neste sistema, seria necessário uma unidade para medição do bloco, que calcularia um ponto de corte. Poderia ser, por exemplo, uma unidade de medida da volumetria do bloco.

### 4.3.2 Espaço

Tendo em conta o desenvolvimento do *layout* para o módulo pretendido, procedeu-se numa primeira abordagem ao levantamento da área disponível para o layout, de modo a que as ideias e possibilidade que surgissem fossem adaptáveis à área.

As medições levantadas foram as representadas na figura 4.12.

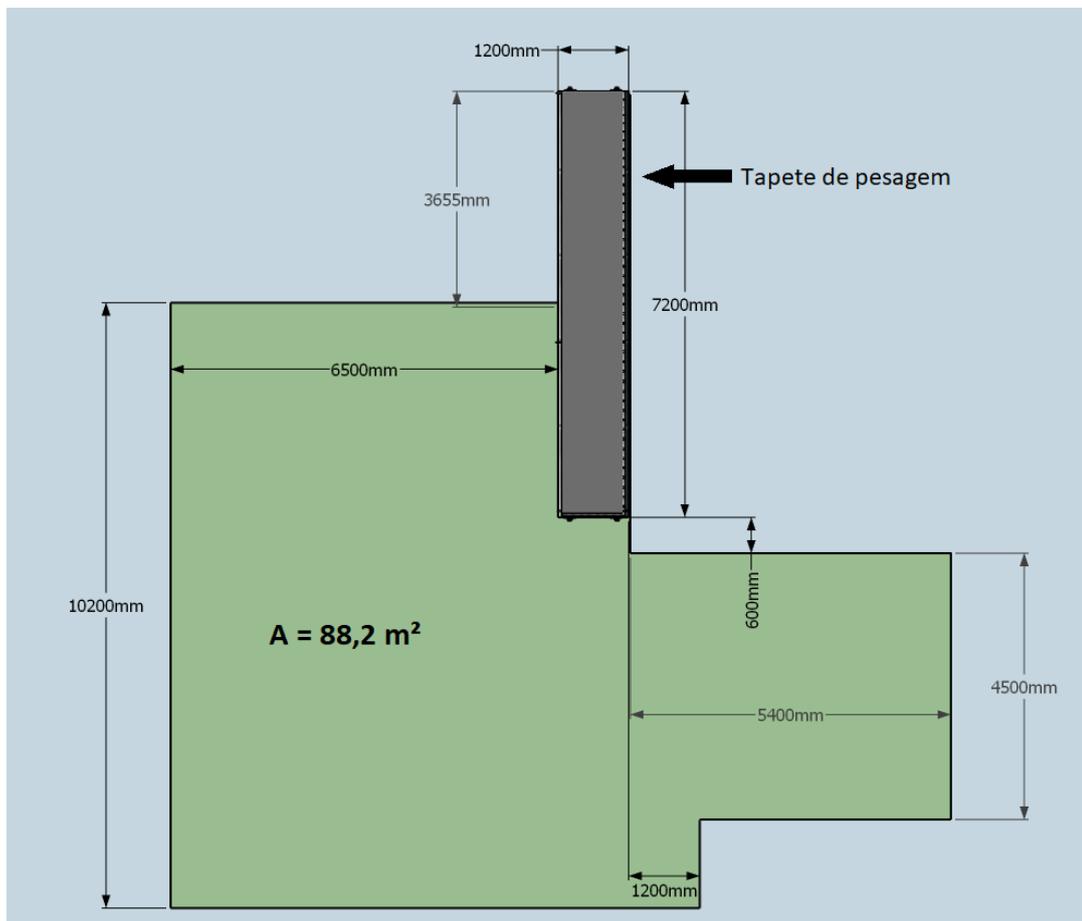


Figura 4.12: Área disponível para o módulo

A área a verde corresponde à área disponível da célula para implementação do módulo. O ponto de referência para uma analogia com a situação atual é o tapete de pesagem indicado, que pode ser comparado á figura 3.1.

O levantamento da área foi feito considerando o espaço necessário para passagem de empilhadores com paletes, e todas as condicionantes físicas inerentes ao espaço, como pilares, paredes, zonas de circulação, alimentação e armazenamento de paletes, sendo que a zona verde pode ser totalmente utilizada para equipamentos do módulo a desenvolver.

Esta área tem em consideração uma folga de aproximadamente 3,6 m ao tapete de pesagem na parte superior de modo a, qualquer que seja o sistema dimensionado, o operador tenha acesso a esta parte para carregamento de pigmentos ou materiais em que seja necessário carregar manualmente.

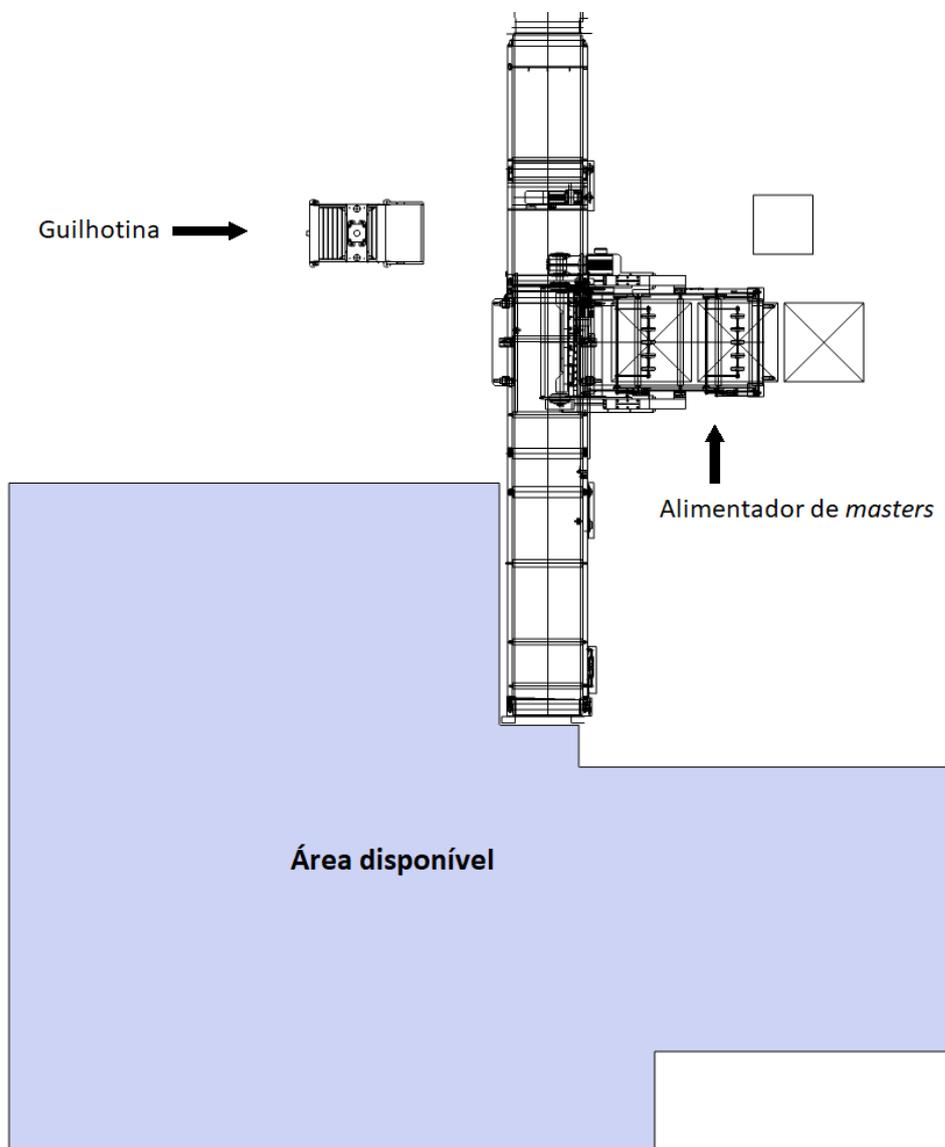


Figura 4.13: Representação da área disponível no desenho da linha

Na figura 4.13 está representado a localização atual da guilhotina e de um alimentador de *masters* que não foi mencionado. No entanto a sua função não é relevante para o problema.

### 4.3.3 Alternativas de layouts

Foram idealizadas várias alternativas de *layout* dos equipamentos, descritos em 4.3.1, e da sua disposição. Utilizou-se um software de modelação 3D para exemplificação do conceito do *layout*, o *SketchUp*, que permite a criação de modelos 3D através de elementos existentes numa base de dados. Foi necessário um *software* deste tipo, uma vez que para definir conceitos de *layouts* é imprescindível uma perspetiva visual.

De entre as opções pensadas, foram analisadas quatro que mostraram a maior potencial de correto funcionamento e aprovação por parte dos responsáveis na empresa.

#### 4.3.3.1 Opção 1

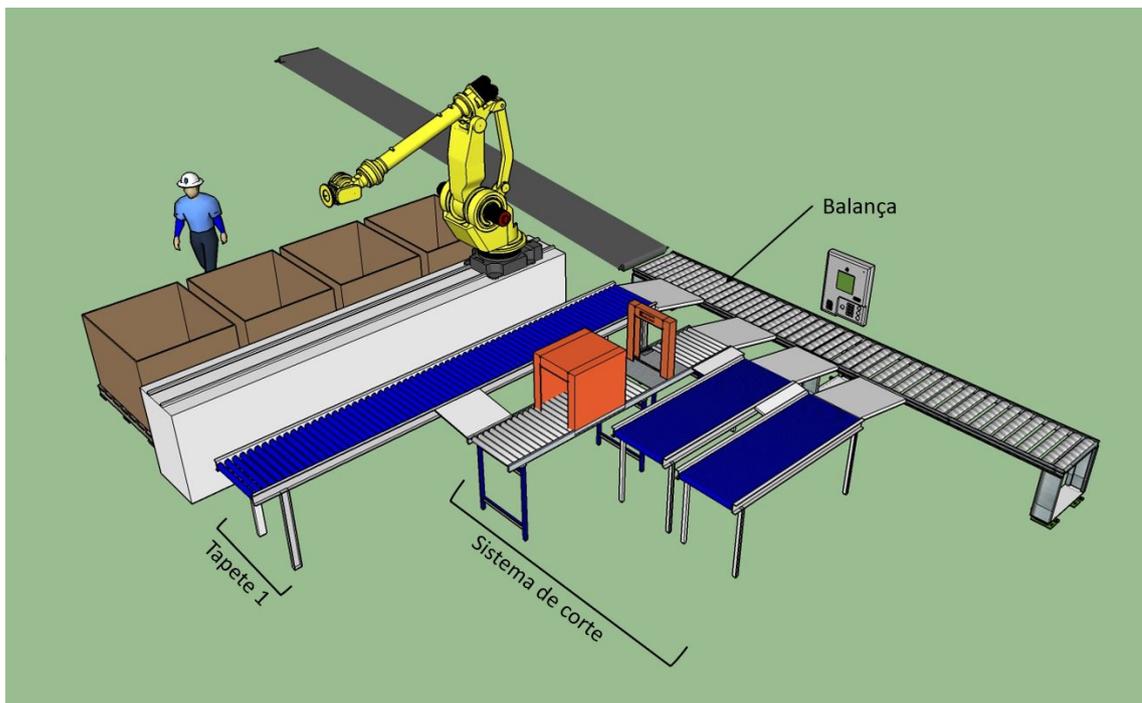


Figura 4.14: Opção 1 - Layout automático com sistema de corte, braço robótico com unidade linear e carregamento manual de paletes

Esta opção corresponde um sistema automático sem unidade de alimentação, em que é efetuado o corte dos blocos através de uma guilhotina automática, sendo o bloco medido antes numa unidade de medição de volumetria (caixa laranja na figura 4.14).

O fluxograma geral do sistema encontra-se representado na figura 4.15

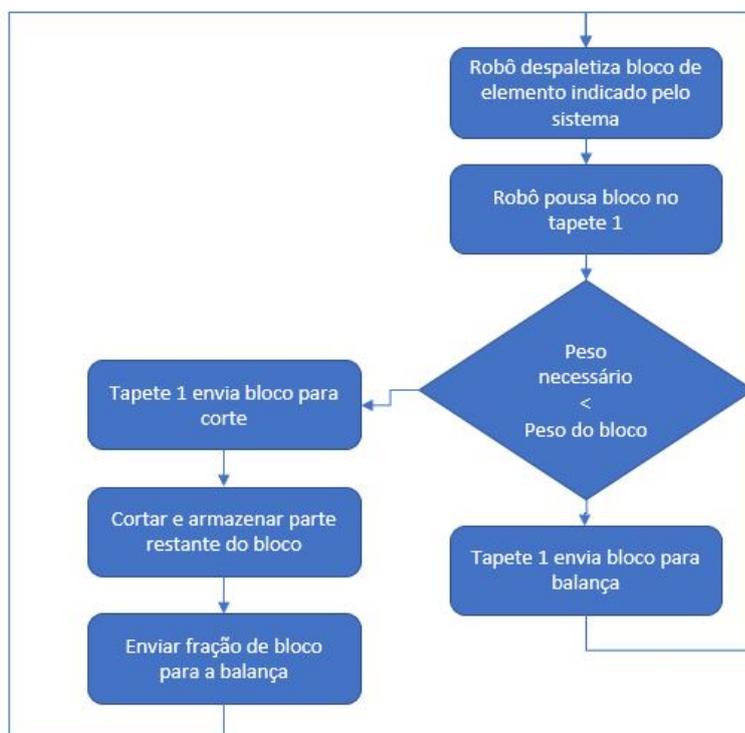


Figura 4.15: Fluxograma de funcionamento da opção 1

O sistema de corte, neste caso, possui duas passadeiras com o objetivo de armazenar o remanescente do corte do bloco. Deste modo, quando um bloco fosse cortado na preparação de um *batch*, imagine-se uma fração de 25%, sobraria 75%. Ora, nos 3 *batch* posteriores não seria necessário despaletizar nenhum bloco para obter os 25%, aconteceria que as passadeiras de armazenamento redirecionariam os blocos para a guilhotina que os cortaria novamente até esgotar a sobra, e só aí o sistema requisitaria um novo bloco para ser fracionado. Esta situação é abordada com mais detalhe em 4.3.6.3.

### 4.3.3.2 Opção 2

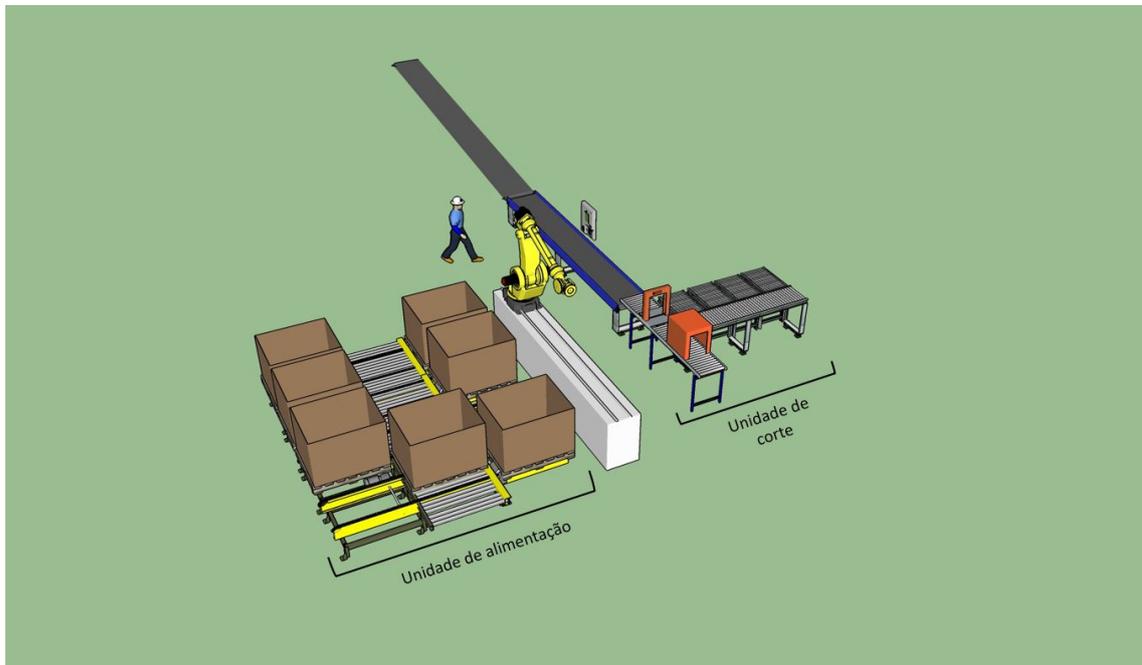


Figura 4.16: Opção 2 - Layout totalmente automático com sistema de corte, braço robótico com unidade linear e *buffer* de paletes

Esta é uma opção totalmente automática em que existe uma unidade de alimentação onde o operador coloca paletes com empilhador. A unidade de alimentação consiste num sistema de passadeiras de paletes, que as direciona automaticamente, apenas dando indicação do elemento a colocar em cada uma das 4 posições de entrada.

Deste modo o robot despaletiza os blocos da mesma forma que em 4.3.3.1 e coloca os blocos na balança, ou na unidade de corte (que se encontra diferente da anterior). Relativamente à opção 1, este layout sofreu também uma modificação na disposição dos elementos de forma a se integrar na área disponível.

A unidade de corte funciona com o mesmo princípio, ou seja, sempre que é necessário cortar um bloco, ele é posicionado na unidade, cortado e armazenada a sobra para utilização no *batch* seguinte.



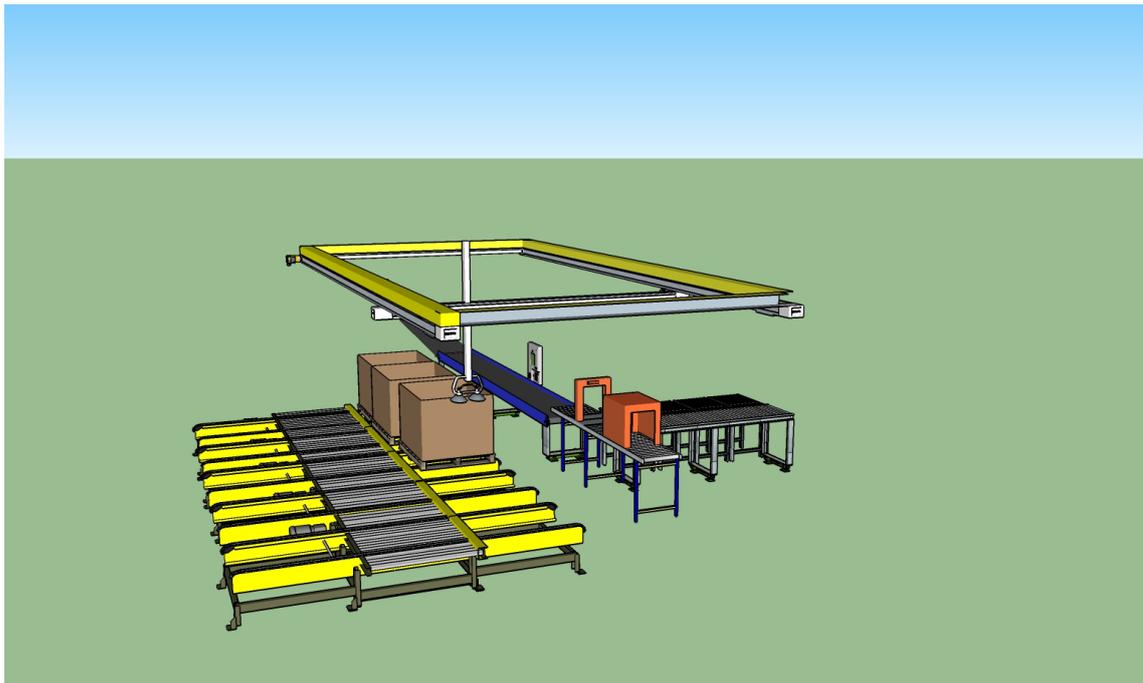


Figura 4.18: Opção 4 - Layout totalmente automático com sistema de corte, robô gantry e buffer de paletes

#### 4.3.4 Análise comparativa

De modo a efetuar uma escolha assertiva do *layout* a utilizar, foram efetuadas várias análises comparativas e de viabilidade de utilização do para os requisitos necessários. Estas análises consistiram num estudo mais aprofundado das características dos equipamentos, bem como na simulação em software apropriado para a função.

##### 4.3.4.1 Análise multi-critério

Como estamos a abordar equipamentos industriais específicos, que exigem uma customização elevada na montagem dos equipamentos, é difícil ter um valor financeiro assertivo para os vários equipamentos (exigiria o pedido de cotações a várias empresas fornecedoras), no entanto foi feita uma estimativa com base nos *inputs* por colegas da empresa e fornecedores. Nesta base, e em conjunto com outros fatores analisados, foi efetuada uma análise multi-critério com base nos seguintes fatores:

- Ergonomia - Por análise dos trabalhos a serem efetuados no novo *layout*.
- Fiabilidade - Potencial para o sistema funcionar tendo em conta a complexidade deste.
- Flexibilidade - Capacidade de incorporação de novas receitas e de corte de blocos em qualquer medida.

- Preço - Estimativa do preço para o layout com base nos equipamentos.
- Automatismo - Grau de automatismo, ou seja, o quão necessária é a mão de obra humana.

Atribuiu-se uma escala qualitativa à ergonomia, fiabilidade e flexibilidade e automatismo tendo-se feito uma correspondência com uma escala quantitativa, que constam nas tabelas 4.2 e 4.3.

Descrição	Sigla	Valor Normalizado
Muito Baixo	MB	0
Baixo	B	0,25
Médio-Baixo	M-B	0,375
Médio	M	0,5
Médio-Alto	M-A	0,625
Alto	A	0,75
Muito Alto	MA	1

Tabela 4.2: Escala para ergonomia, fiabilidade e flexibilidade

Descrição	Sigla	Valor Normalizado
Semi Automático	S	0,5
Manual	M	0
Automático	T	1

Tabela 4.3: Escala para automatismo

Para obter uma análise quantitativa para os preços, com base em *inputs* de equipamentos semelhantes, obtemos os valores representados na tabela 4.4.

Equipamento	Preço (k€)
Guilhotina Automática	30
Tela transportadora	5 (k€/m)
Unidade de medida de blocos	10
Sistema de controlo	80
Robô + Unidade linear	150
Unidade de alimentação	50
Robô gantry	80

Tabela 4.4: Preços estimados para equipamentos

Juntando estes fatores numa tabela comparativa, obtemos 4.5. Para o preço considerou-se os equipamentos principais utilizados, e 14 metros de tela transportadora para a opção 1 e 3, e 11 metros para as restantes.

Fatores	Opção			
	1	2	3	4
Ergonomia	M-B	A	M	A
Fiabilidade	M-A	M-A	A	M-A
Flexibilidade	M	M-A	M-B	M-A
Preço (k€)	340	375	300	305
Automatismo	S	T	S	T

Tabela 4.5: Análise multi-critério de comparação entre *layouts*

Com base nas escalas das tabelas 4.2 e 4.3, procedeu-se à normalização dos valores da tabela 4.5, resultando a tabela 4.6. Para obter a melhor opção com base nestes pressupostos, atribuiu-se um peso a cada um deles: 20% à ergonomia e automatismo, 15% à fiabilidade e flexibilidade e 25% ao preço. Este pesos têm por base *inputs* da empresa bem como os objetivos.

Para obter uma medida quantitativa fez-se uma soma pesada dos fatores descritos.

Fatores	Opção				Peso
	1	2	3	4	
Ergonomia	0,63	0,75	0,50	0,75	20%
Fiabilidade	0,50	0,63	0,75	0,63	15%
Flexibilidade	0,50	0,63	0,38	0,63	15%
Preço (k€)	0,80	0,63	1,00	0,98	25%
Automatismo	0,5	1,00	0,50	1,00	20%
<b>Resultado</b>	<b>0,575</b>	<b>0,694</b>	<b>0,619</b>	<b>0,781</b>	

Tabela 4.6: Análise multi-critério normalizada de comparação entre *layouts* e resultado

O resultado mais elevado dá a indicação do *layout* que melhor satisfaz os fatores na sua importância devida. Assim, o *layout* indicado como a melhor opção por este método é o *layout* da opção 4, ou seja, totalmente automático com um robô *gantry*.

### 4.3.5 Simulação

Embora o resultado tenha apontado um uma alternativa como a melhor opção, é necessário garantir que esta cumpre os requisitos necessários para a sua função. Para isso foi construído um modelo de simulação com os equipamentos que se pretende utilizar e com as suas características físicas e dinâmicas, por forma a validar a opção que apresenta mais potencial e também comparar a opção 4 com a opção 2, ou seja, se em termos de funcionamento e tempo de ciclo um braço robótico é melhor ou pior que um robô *gantry*.

Para a simulação utilizou-se o *software Visual Components*, que é um software de simulação para a indústria utilizado por centenas de organizações para suporte e planeamento de decisões. O software tem uma vasta biblioteca de equipamentos mais comuns na indústria, sendo possíveis adicionar ou construir novos equipamentos. As funções dos equipamentos são conseguidas com recurso a programação de objetos, tipicamente em Python ou C#, ou pelo uso de interfaces de

programação automática de robôs. A curva de aprendizagem é relativamente extensa, mas que no entanto permite modelar uma enorme variedade de situações.

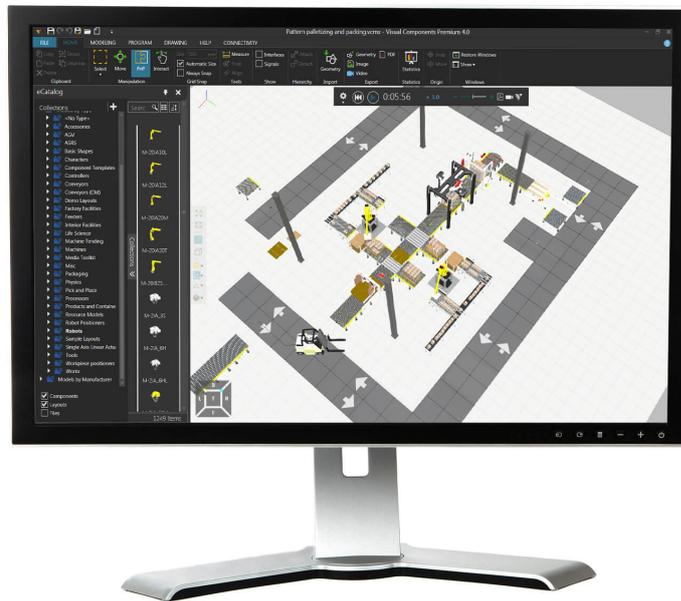
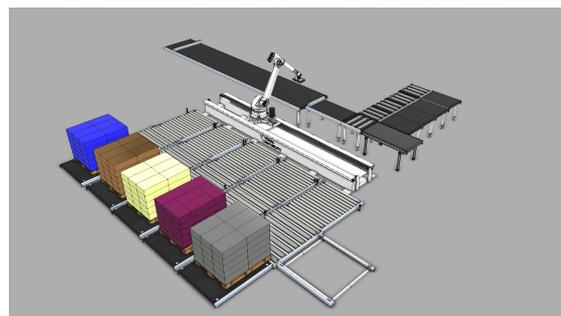


Figura 4.19: Aspeto gráfico do software - [18]

A primeira fase de modelação do sistema foi a disposição dos equipamentos e a criação de equipamentos ou componentes necessários adicionais, ficando o sistema com o aspeto da figura 4.20.



(a) Solução com gantry



(b) Solução com braço robótico

Figura 4.20: Sistemas simulados em *Visual Components*

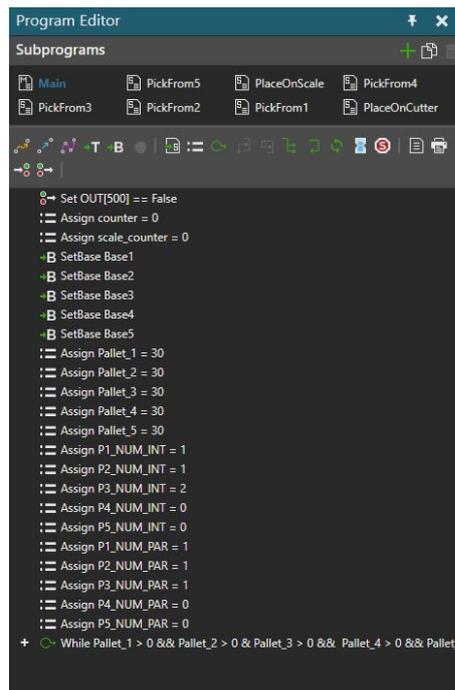
O objetivo da simulação é retirar métricas temporais e também de entender o modo de funcionamento do sistema.

Para isso foi criado um programa de deslocamento do robot, que tem como *inputs* parâmetros da receita, para que fosse possível simular diferentes cenários de receitas. O programa foi é sequencial e consiste na definição de um conjunto de coordenadas às quais o robô tem que se deslocar e posteriormente manipular o bloco.

Numerou-se cada posição de despaletização na unidade de alimentação de 1 a 5 (P1, P2, P3, P4, P5). Fez-se cinco funções para deslocação do robot para extração do bloco, uma para cada paleta na zona de alimentação, e duas funções de posicionar, na unidade de corte e na balança.

Além disso criou-se bases de 5 bases de coordenadas de modo a conseguir mudar as coordenadas de cada paleta a cada iteração do programa, para despaletizar segundo o padrão existente.

Como parâmetros de entrada temos *Pallet\_x*, *Px\_NUM\_INT* e *Px\_NUM\_PAR*, que correspondem respetivamente o número de blocos na paleta *x*, número de blocos inteiros da paleta *x* num *batch* e número de blocos fracionado na paleta *x* num *batch*.



```

Program Editor
Subprograms
Main PickFrom5 PlaceOnScale PickFrom4
PickFrom3 PickFrom2 PickFrom1 PlaceOnCutter

Set OUT[500] == False
Assign counter = 0
Assign scale_counter = 0
B SetBase Base1
B SetBase Base2
B SetBase Base3
B SetBase Base4
B SetBase Base5
Assign Pallet_1 = 30
Assign Pallet_2 = 30
Assign Pallet_3 = 30
Assign Pallet_4 = 30
Assign Pallet_5 = 30
Assign P1_NUM_INT = 1
Assign P2_NUM_INT = 1
Assign P3_NUM_INT = 2
Assign P4_NUM_INT = 0
Assign P5_NUM_INT = 0
Assign P1_NUM_PAR = 1
Assign P2_NUM_PAR = 1
Assign P3_NUM_PAR = 1
Assign P4_NUM_PAR = 0
Assign P5_NUM_PAR = 0
While Pallet_1 > 0 && Pallet_2 > 0 && Pallet_3 > 0 && Pallet_4 > 0 && Pallet_5 > 0

```

Figura 4.21: Parâmetros do programa de movimentação do robô

Inicialmente foi efetuado um levantamento do tempo ocupado por cada movimento que o sistema poderá requerer ao *gantry* ou ao braço robótico (dados nas tabelas 4.7 e 4.8). Este levantamento foi feito através da definição de um conjunto de duas coordenadas, um ponto de partida e um de destino (correspondentes a posições de despaletização e posicionamento), em que se simulou o movimento do robô entre esses dois pontos (ida e volta), e através dos dados registados fez-se um levantamento dos tempos.

O tempo documentado corresponde ao ciclo de movimento, ou seja, no exemplo de P1-Balança corresponde ao tempo de se descolar de P1 até à balança, e de efetuar o movimento de retorno.

Podemos observar que a média de tempo do robô *gantry* é inferior à do braço robótico. O braço robótico é capaz de efetuar operações muito mais rapidamente do que o *gantry*, mas a unidade linear sobre a qual se desloca é um limitador de movimento e rapidez para o robot, comprovado pela simulação, uma vez que um equipamento deste tipo desloca-se no máximo a 2500 mm/s.

Movimento	Tempo (s)
P1-Balança	9,1
P2-Balança	8,4
P3-Balança	8,7
P4-Balança	9,8
P5-Balança	11,3
P1-Corte	12,3
P2-Corte	10,4
P3-Corte	9,3
P4-Corte	8,1
P5-Corte	7
Média	9,44

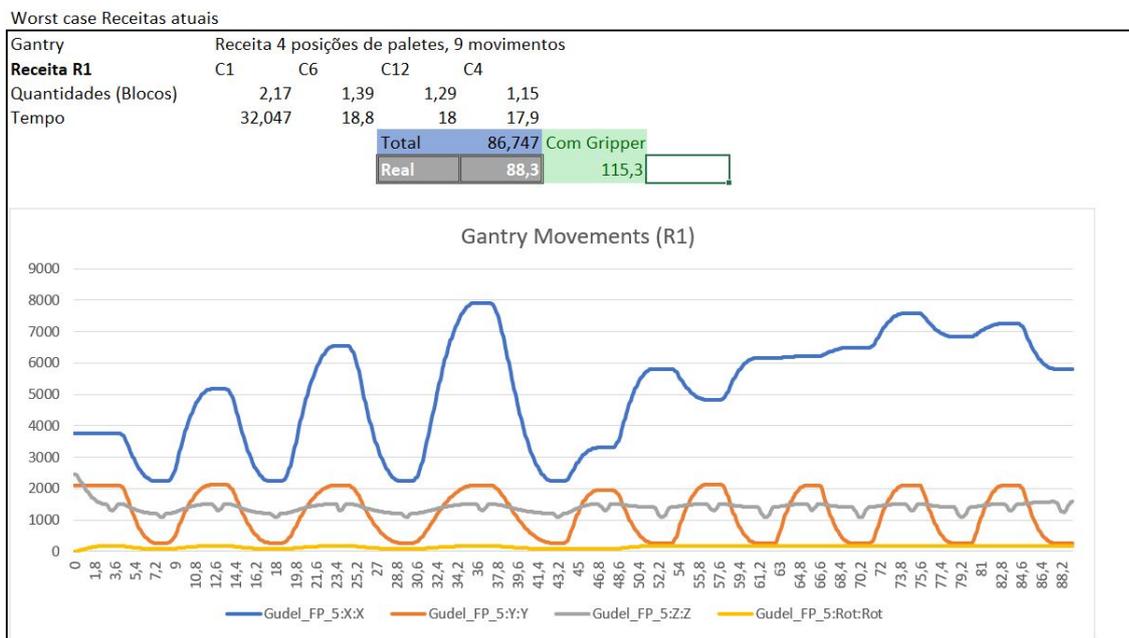
Tabela 4.7: Simulação robô *gantry*

Movimento	Tempo (s)
P1-Balança	9,4
P2-Balança	4,9
P3-Balança	6,3
P4-Balança	11,6
P5-Balança	15,9
P1-Corte	20
P2-Corte	14,8
P3-Corte	10,5
P4-Corte	5,1
P5-Corte	5
Média	10,35

Tabela 4.8: Simulação do braço robótico

Para validar o sistema, procedeu-se à simulação da pior receita atual, ou seja, a receita que requer maior quantidade de blocos despaletizados por *batch*.- Neste caso corresponde à receita R1 em 3.1.2.3.

As figuras 4.22 e 4.23 mostram os movimentos no espaço cartesiano dos eixos dos robôs. Foi feita uma comparação do tempo total (que corresponde ao tempo esperado com base na tabela 4.8 e 4.7) e tempo real (correspondente ao tempo efetivo dos valores da simulação).

Figura 4.22: Execução da receita R1 pelo robô *gantry*

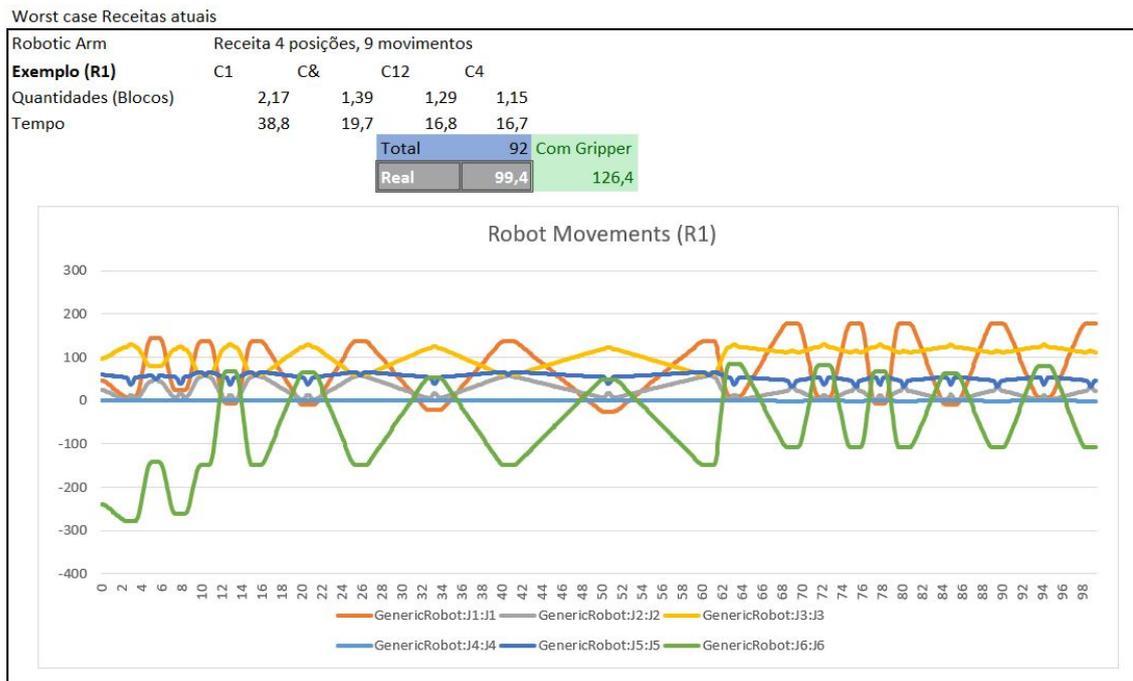


Figura 4.23: Execução da receita R1 pelo braço robótico

Como se pode observar, para a pior receita em termos de movimentos, o braço robótico não tem capacidade temporal para executar a função. O limite de preparação do *batch* está fixado em 120 segundos. O efeito do *gripper* agrava o movimento em **2,2 segundos** no movimento de pegar no bloco e **0,8 segundos** no movimento de pousar, o funcionamento deste componente devidamente abordado em 4.3.5.1.

Logo, a melhor opção será a **opção 4**. Tanto a análise multi-critério, como a simulação, fundamentam esta escolha.

#### 4.3.5.1 *Gripper*

Despaletizar os blocos manualmente exige por parte do operador mais ações que o simples acionamento do *gripper*, pois algumas vezes os blocos encontram-se bastante compactados, e pegar num bloco faz com que os blocos da fronteira sejam arrastados em conjunto.

Para resolver esta situação decidiu-se procurar soluções de mercado que fossem capazes de extrair o bloco da paleta nestas condições, no entanto não foi encontrado nenhum componente capaz de realizar esta função. Desta forma, modelizou-se um conceito do *gripper* necessário para esta tarefa. Foi utilizado o *software Visual Components* para simular o componente modelizado.

O *gripper* consiste numa base igual ao *gripper* manual atual, com a adição de três ficadores e atuação pneumática ou hidráulica nas ventosas a vácuo. Este conceito encontra-se representado na figura 4.24.

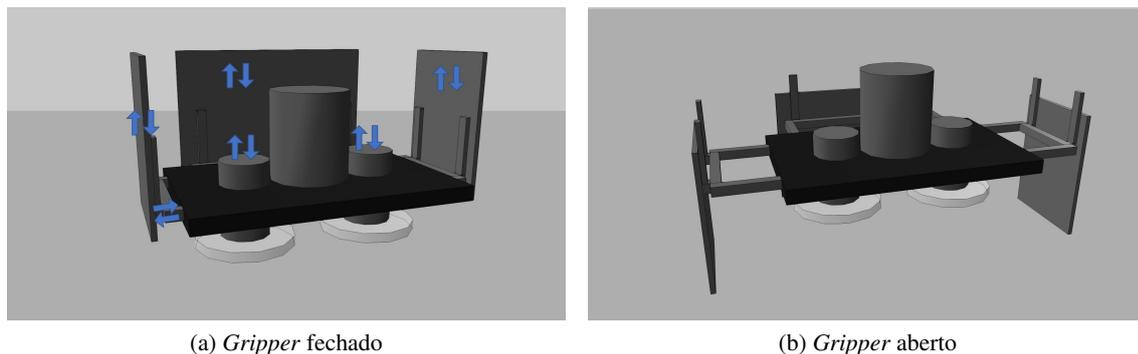


Figura 4.24: Conceito do *gripper* modelizado

Com um componente deste género seria possível fixar os blocos fronteira e extrair apenas o bloco pretendido, deste modo seria reduzida a força do *gantry* e o bloco seria separado de uma forma eficaz.



Figura 4.25: Simulação do conceito de extração do bloco

Através da simulação, estimou-se um tempo médio de extração do bloco de **2,2 segundos** e tempo de pousar o bloco de **0,8 segundos**.

### 4.3.6 Plano do layout

De modo a compreender mais especificamente as funções de cada módulo do layout foi feita uma descrição mais detalhada de cada um deles.

De acordo com os equipamentos e layout escolhido, a área geral ocupada pelo layout seria a representada na figura 4.26.

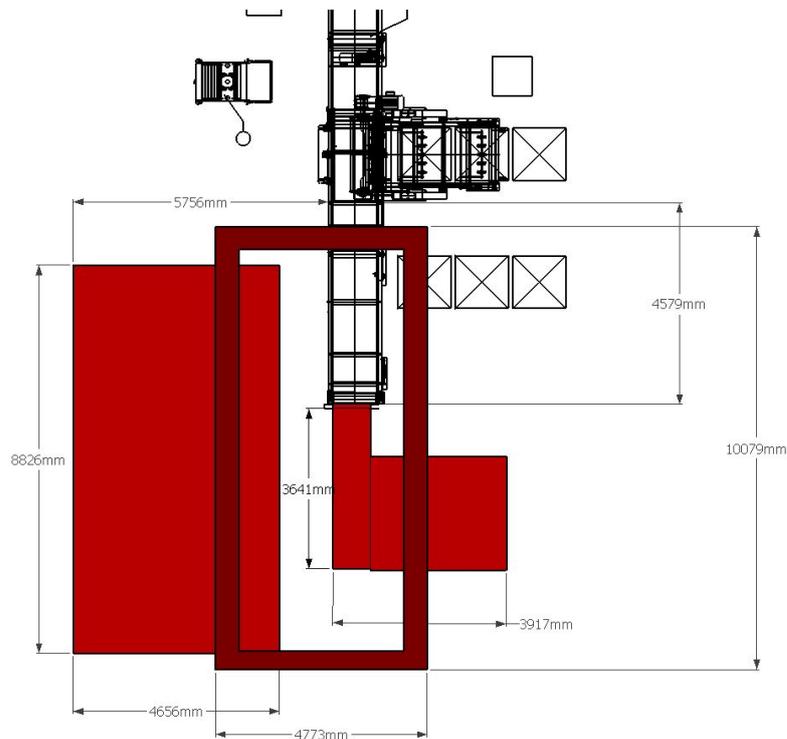


Figura 4.26: Área ocupada pelo conceito escolhido

O layout escolhido é dividido em três módulos:

- A **unidade de alimentação**, que trata do posicionamento das paletes.
- A **unidade de transporte**, que corresponde ao robô *gantry*, ou seja, trata da despaletização e posicionamento dos blocos.
- A **unidade de corte**, que corta os blocos e alimenta automaticamente a balança.

#### 4.3.6.1 Unidade de alimentação

A unidade de alimentação terá 10 posições para paletes mais uma posição de saída, totalizando 11 posições de paletes. 5 são posições de alimentação, 5 posições de *stock* e 1 posição de saída.

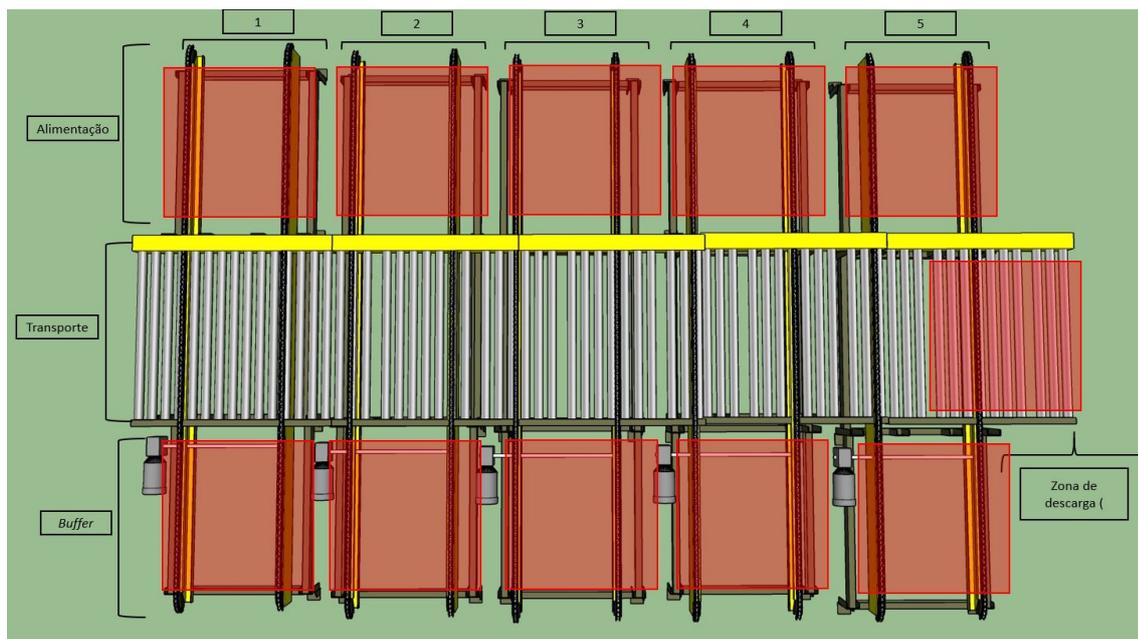


Figura 4.27: Vista de topo da unidade de alimentação de paletes

Na figura 4.27 está representado o equipamento com as posições para as paletes. O objetivo do sistema é conseguir carregar todas as matérias primas necessárias para a execução de uma receita de modo a minimizar os tempos de reposição de paletes, ou seja, o tempo de carregamento das paletes deve ser um tempo relativo a um *set-up* inicial, antes de começar a execução da receita.

Para isso, em cada posição de entrada (*buffer* na figura 4.27) existe um *display* de linha leds, figura 4.28, com indicação da referência do elemento a colocar. E cada vez que uma paleta fica vazia, desloca-se automaticamente para a zona de descarga.



Figura 4.28: Display - [19]

Um exemplo ilustrativo do funcionamento do sistema seria o seguinte:

Assumindo que se quer realizar uma receita R3 com uma quantidade de 30 *batch*, temos que definir o número de blocos necessários de cada elemento para a os 30 *batch*, tabela 4.10.

Sabendo que cada paleta contém um determinado número de blocos, tabela 4.12.

Receita	Nº Paletes na alimentação	Nº de blocos			
		C9	C7	C10	C11
R3	4	0,58	2	2,39	2,33

Tabela 4.9: Receita R3

Receita	Nº Paletes na alimentação	Nº de blocos 30 batch			
		C9	C7	C10	C11
R3	4	18	60	72	70

Tabela 4.10: Número de blocos necessários para receita R3

Receita	Nº de blocos por paleta			
	C9	C7	C10	C11
R3	21	40	30	30

Tabela 4.11: Número de blocos por paleta de cada elemento

Seriam necessárias para a execução desta ordem as paletes representadas na tabela 4.11.

Receita	Nº de paletes			
	C9	C7	C10	C11
R3	1	2	3	3

Tabela 4.12: Número de paletes necessárias à execução da receita

O carregamento das paletes seria otimizado ao colocar as paletes cujo elemento tem maior quantidade na receita na posição 1, seguido das posições 2, 3, 4 e 5. Desta forma os blocos que são necessários despaletizar mais vezes encontra-se mais próximos da balança, minimizando o tempo de ciclo.

Portanto, o carregamento seria feito da forma representada na figura 4.29.

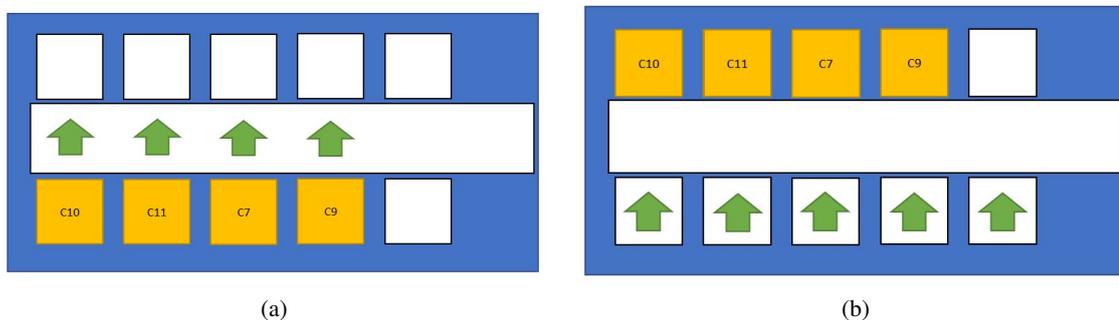


Figura 4.29: Carregamento de paletes na unidade de alimentação (exemplo para receita R3)

Da forma representada, não seria necessário efetuar mais nenhum carregamento até ao final da execução da receita.

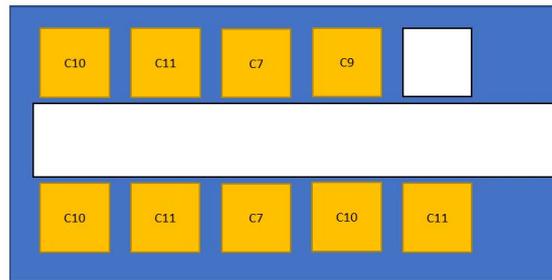


Figura 4.30: Fim do *set-up* para a unidade de alimentação

#### 4.3.6.2 Unidade de transporte

Para a unidade de transporte de blocos decidiu-se utilizar um robô *gantry* tal como apresentado na figura 4.9, com um comprimento de 10 metros e uma largura de 4,8 metros, como representado na figura 4.26. Este robô estará a cerca de 2 metros de altura relativamente ao chão, conforme ilustrado na figura 4.31 (os valores apresentados encontram-se em milímetros).

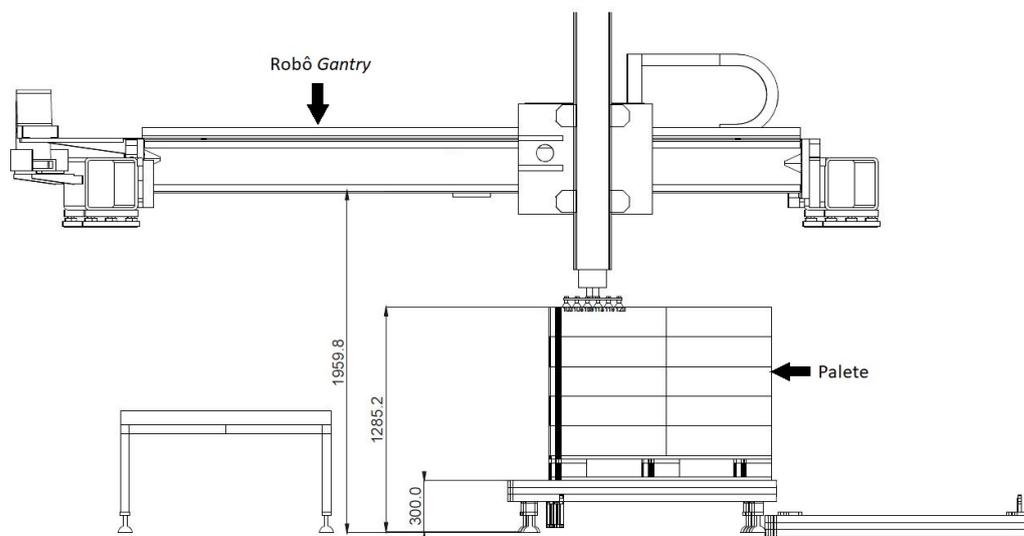


Figura 4.31: Enquadramento do robô *gantry* com a unidade de alimentação

Este robot possui uma velocidade de eixos de 3 m/s, indicado na figura 4.10, o que proporciona um melhor desempenho, e mais estável do que o braço robótico.

#### 4.3.6.3 Unidade de Corte

A unidade de corte consiste em dois equipamentos fundamentais, a unidade de medida e a guilhotina, apoiados por um conjunto de transportadores que permitem a deslocação e o armazenamento de blocos.

Uma representação da unidade encontra-se na figura 4.32. E o modelo de funcionamento do sistema está descrito na forma de fluxograma na figura 4.33.

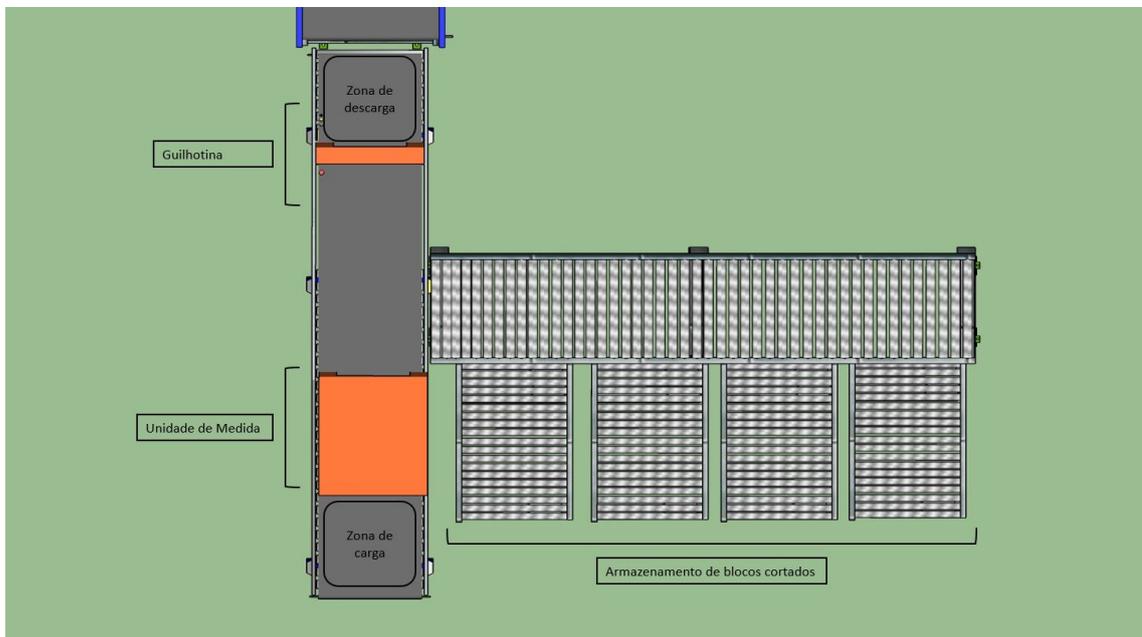


Figura 4.32: Vista de topo da unidade de corte

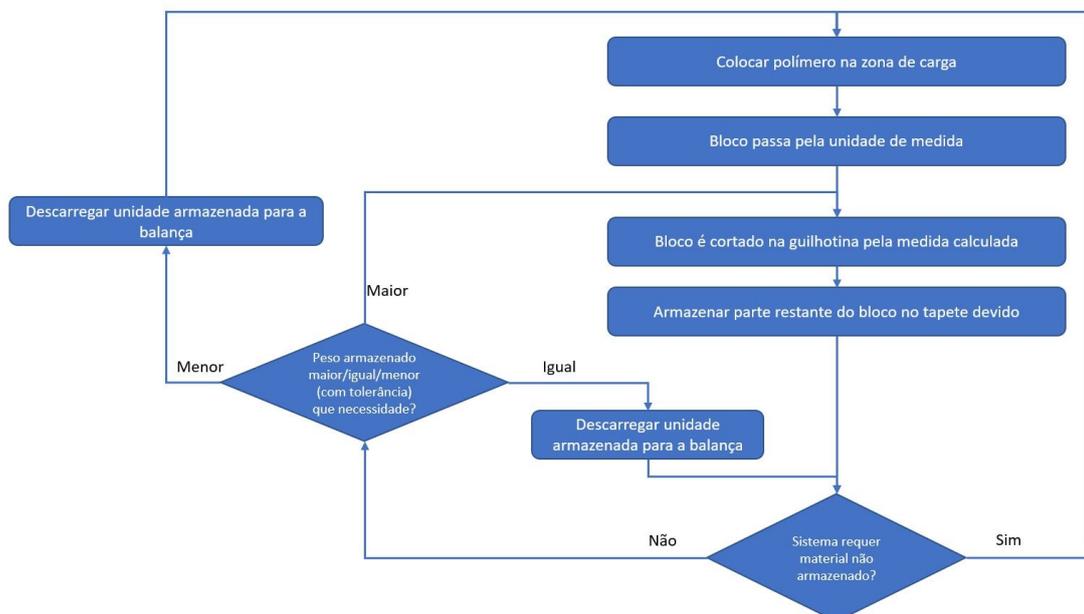


Figura 4.33: Fluxograma de funcionamento da unidade de corte

A unidade de medida consiste num equipamento de medida de densidade do elemento através de micro-ondas, ou seja, consegue adquirir a medida da densidade do bloco ao longo do seu comprimento de uma forma muito precisa. Este equipamento é o **Malcam MMA-3020**, [20], representado na figura 4.34. A necessidade deste equipamento resulta do requisito de efetuar um corte preciso com um peso indicado pelo sistema, conseguindo o mapeamento do peso do bloco ao longo do seu comprimento, é possível calcular o ponto exato de corte necessário.

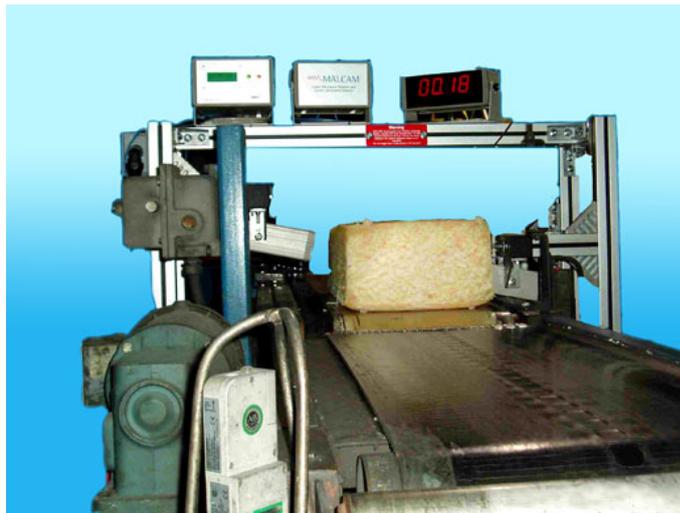


Figura 4.34: Malcam MMA-3020 para medida de densidade de blocos de borracha - [20]

Sabendo a distribuição de peso ao longo do comprimento é possível calcular um ponto exato de corte para conseguir o peso indicado pelo sistema. Calculado este ponto de corte, é uma questão de calcular o posicionamento na guilhotina através de um sensor ótico e da velocidade do tapete transportador.

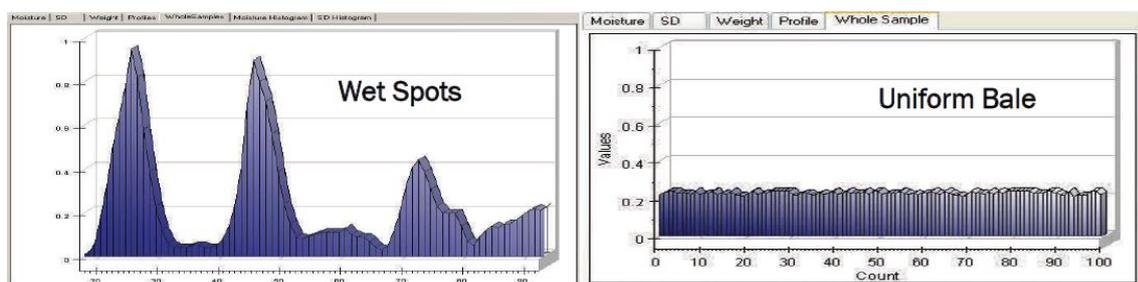


Figura 4.35: Resultados da análise do Malcam MMA-3020 - [20]

A guilhotina será automática, para isso utiliza-se a guilhotina **PumaCut 300** [17] (que foi a única solução automática adequada para o efeito que se teve conhecimento), que se encontra representada na figura 4.11. Esta guilhotina possui um sensor ótico na direção da lâmina e *encoders* no transportador para uma maior precisão do movimento e posicionamento.

## Capítulo 5

# Arquitetura do Sistema

Estando feita a validação do *layout* e dos equipamentos a utilizar, é importante modelar o funcionamento dos diversos equipamentos. Para isso procedeu-se a uma descrição mais detalhada em termos de sensores/atuadores necessários bem como a indicação dos equipamento para controlo da célula.

Para além da descrição, foi também feita uma modelação do funcionamento da célula utilizando *Grafcet* e definidos os tipos de comunicação a utilizar entre os vários módulo.

### 5.1 Equipamentos

#### 5.1.1 Unidade de alimentação

A unidade de alimentação é composta por 11 motores, ou seja, 10 movimentos independentes, correspondentes aos movimentos entre as áreas indicadas na figura 5.1. Estes movimentos serão feitos nos dois sentidos, de modo a proporcionar flexibilidade de manuseamento das paletes.

Para além dos movimentos possíveis, que foram representados na tabela A.2 na forma de variáveis discretas, existem também um conjunto de sensores para posteriormente posicionar a paleta (figura 5.2) no local devido. Estes sensores são do tipo ópticos retro-refletidos, ou seja, o sensor emite um feixe de luz que é refletido num elemento refletor (espelho) e este feixe regressa ao receptor, que se encontra na mesma unidade que o emissor. Este tipo de sensores tem uma saída digital que pode ser mapeada numa variável booleana, tabela A.1. Existem também sensores indutivos para deteção da paleta em zonas de difícil colocação de sensores óticos, acabam também por ser uma boa escolha uma vez que todas as paletes têm a sua base em metal. A saída de um sensor deste tipo é também digital e encontra-se também mapeada na tabela A.1.

A unidade é composta por 3 áreas principais (conforme representado na figura 5.1):

- PLA - Zona de carga das paletes pelo operador.
- PLP - Zona de transporte entre PLA e PLB.
- PLB - Zona de despaletização pelo robô *Gantry*

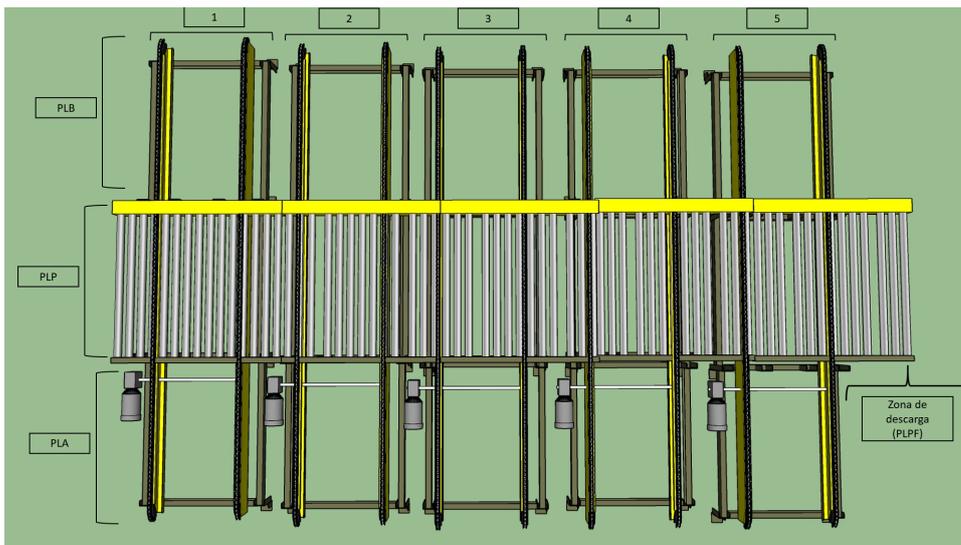


Figura 5.1: Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas

Na área PLA é necessário um leitor de códigos de barras fixo em cada posição para ler a identificação de cada paleta e guardar numa base de dados para rastreamento de material.

Adicionalmente, existe a zona de descarga das paletes (PLPF), para onde se deslocam as paletes vazias ou não mais necessárias.

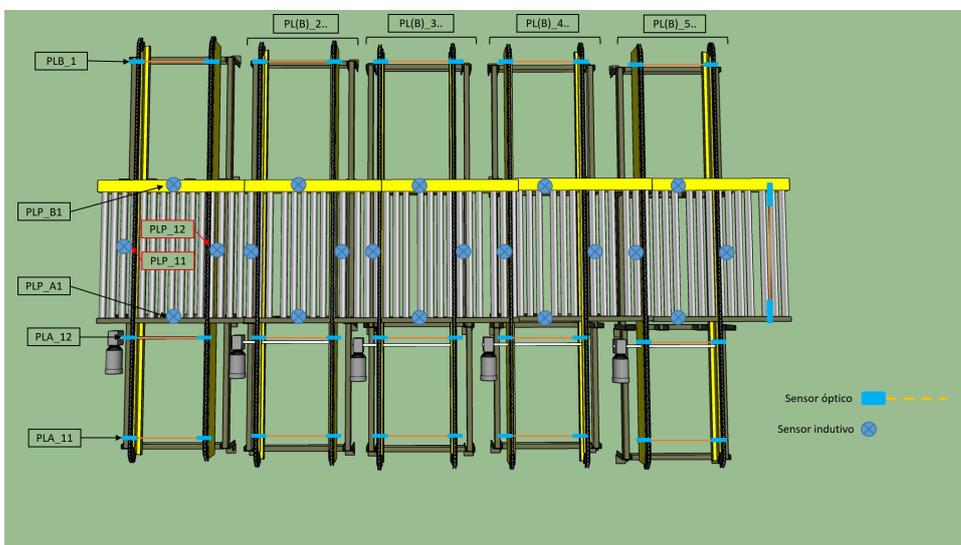


Figura 5.2: Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas

### 5.1.2 Unidade de transporte - Sistema de visão

Para guiar o robô até ao bloco a despaletizar é necessário um conjunto de coordenadas no espaço que correspondem à localização do bloco, que têm como informação a localização do bloco no espaço cartesiano, bem com a sua orientação e indicação de blocos fronteira. A obtenção destas coordenadas poderia ser feita das seguintes formas:

- Tendo por base o padrão de paletização e a posição pré-definida da paleta na unidade de alimentação, bem como as suas dimensões.
- Tendo um sistema de localização automático para detecção das coordenadas dos blocos.

No caso da primeira forma teria que haver a certeza de que o padrão de paletização não variava, bem como a dimensão dos blocos e da paleta, situação que não pode ser considerada sempre constante, pois não existem requisitos para com o fornecedor neste sentido. Sendo assim, como existe uma imprevisibilidade na forma como os blocos estão acomodados seria necessário um sistema dinâmico para identificação da sua posição.

Isto leva-nos ao segundo ponto, um sistema automático para localização dos blocos no espaço. Existem várias tecnologias, muitas com base em visão artificial, de identificação de elementos e formas, como indicado na figura 5.3.

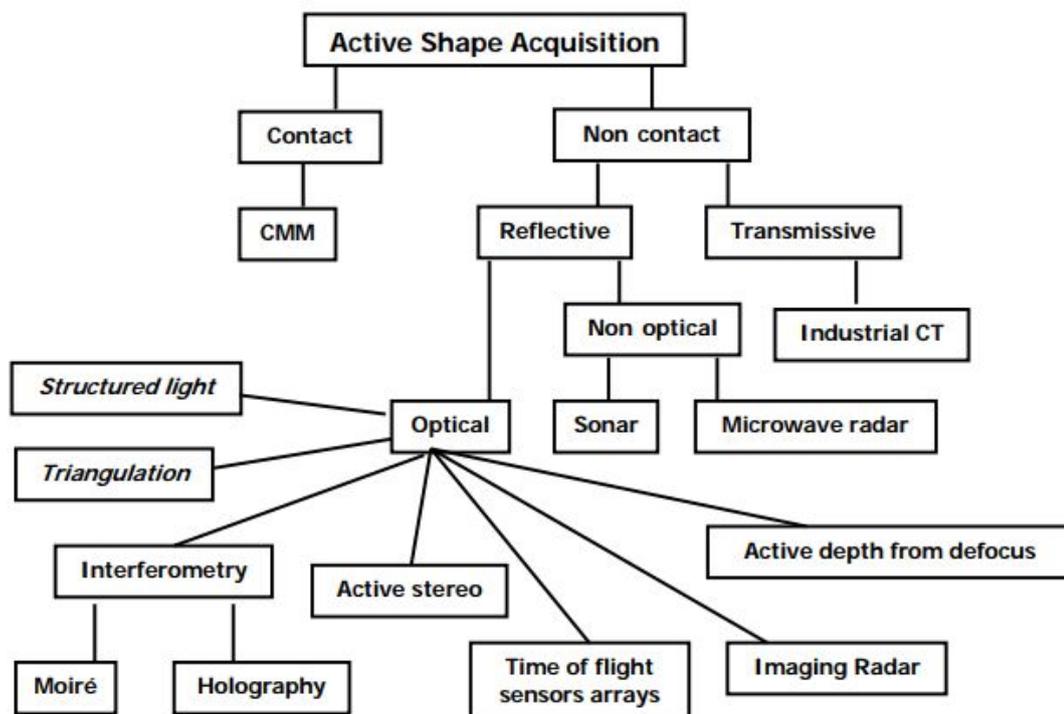
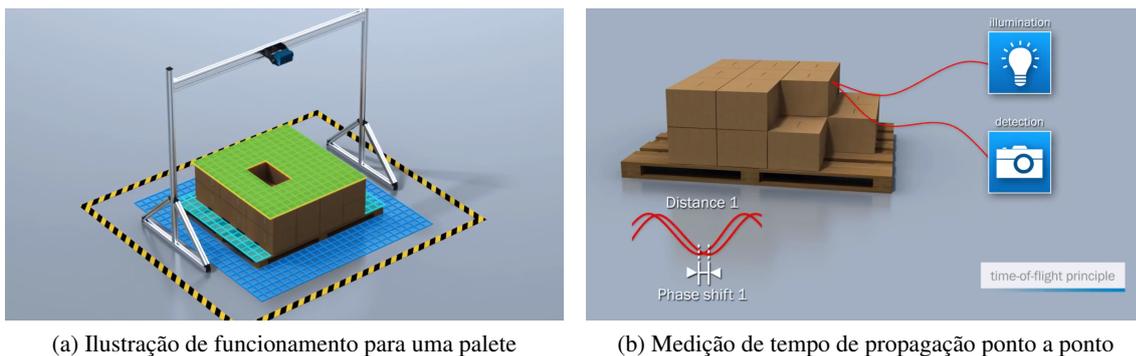


Figura 5.3: Tipos de mapeamento 3D - [21]

Teriam que ser identificados os elementos de 5 paletes diferentes, logo o sistema escolhido teria que ser replicado para as 5 paletes, ou então partilhado por conjuntos delas. Outro requisito é a capacidade de a aquisição ser instantânea de modo a não prejudicar o tempo de ciclo. Deste modo pode-se excluir soluções que envolvem o movimento de câmeras ou têm um tempo de aquisição significativo (maior que 1 segundo).

Em relação à tecnologia a utilizar, e como base em opiniões de fornecedores, as mais recorrentes neste tipo de aplicações são os sistemas baseados em análise de imagem para identificação das coordenadas cartesianas nos eixos  $x$  e  $y$ , triangulando essas coordenadas com um mecanismo de aquisição de profundidade da imagem, ou seja, o eixo  $z$ . Este mecanismo de aquisição pode ir desde um simples sensor ultrasónico solidário com o *gantry*, ou uma solução mais sofisticada, que consiste na projeção de padrões laser na superfície a identificar, de modo a serem reconhecidos pela câmera. Outra opção, não tão comum em ambientes industriais, seria uma câmera TOF (*Time Of Flight*), figura 5.4, que faz o mapeamento 3D de um objeto com base na velocidade da luz, através da medição do tempo de propagação de um sinal luminoso refletido no objeto, para cada ponto da imagem.



(a) Ilustração de funcionamento para uma paleta

(b) Medição de tempo de propagação ponto a ponto

Figura 5.4: Câmera TOF - [22]

Uma câmera TOF não adquire imagem, apenas faz o mapeamento dos sinais medidos, ou seja, adquire forma do objeto com uma resolução baixa, tipicamente de  $144 \times 176$  pixels, no entanto consegue adquirir cerca de 50 imagens por segundo. Um dos problemas na aplicação desta tecnologia seria a identificação de cada um dos blocos da camada, uma vez que alguns dos blocos se encontram muito compactados e devido à resolução da câmera seria difícil identificar a zona fronteira e/ou o centro de um bloco. Outra questão prende-se com o custo do equipamento, que embora não tenha sido obtida uma cotação, estima-se um custo que ronde os 10k€, o que é significativo uma vez que seriam necessárias 5 câmeras (1 para cada paleta).

Uma vez que existem blocos muito compactados, há situações em que é muito complexo um sistema de visão identificar as fronteiras e posição, deste modo decidiu-se que o operador, antes de colocar a paleta na unidade de alimentação, desenha um "x" no centro do bloco com um marcador vermelho (ou outra cor que se revele mais adequada). Desta forma, e com um sistema de visão

adequado, é possível detetar o padrão de paletização para o elemento em questão, que se repetirá para as camadas seguintes.

O sistema de visão a utilizar, consiste no conjunto de uma câmara de alta definição com um projetor de padrões *laser*, e utilizando um método de triangulação seria possível efetuar um reconhecimento 3D da imagem, deste modo seria possível obter as coordenadas  $x$  e  $y$  através da análise da imagem (o "x" marcado pelo operador) e a coordenada  $z$  de cada bloco através da triangulação com recurso ao sensor. Em [21] foi desenvolvido um sistema com recurso a este método, que é bastante mais económico que o anterior, pois apenas necessita de uma câmara com boa resolução e um projetor de padrões laser. Este conjunto seria replicado para cada uma das posições de paletes na unidade de alimentação.

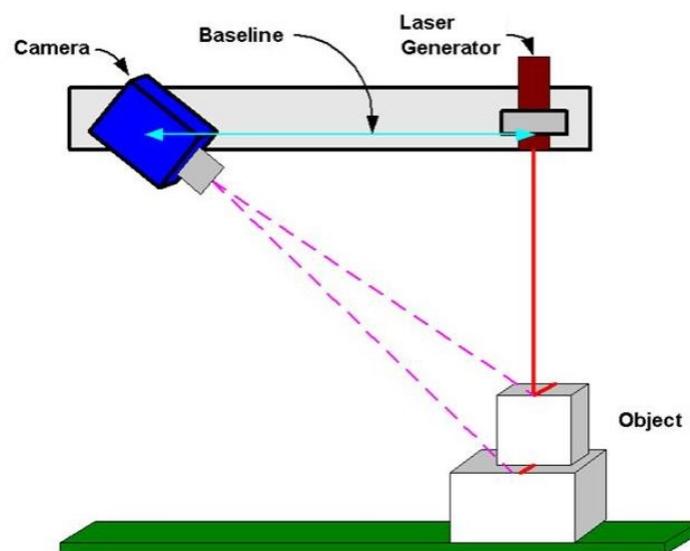


Figura 5.5: Triangulação 3D - [23]

O local destes equipamentos é no topo do robô *gantry*, isto significa que a aquisição de imagem tem que ser feita quando a travessa do robô não está a interromper o campo de visão.

### 5.1.3 Unidade de corte

A unidade de corte contém elementos que permitem o transporte do bloco sempre na mesma posição em que é colocado na zona de carga. Para isso são utilizados sensores ópticos para deteção do bloco. A unidade foi sub-dividida em áreas de modo a uma mais fácil identificação dos seus componentes. A definição das entradas e saídas também foi efetuada e encontra-se nas tabelas A.3 e A.4.

Os elementos constituintes da unidade encontram-se representados na figura 5.6, e são os seguintes:

- Guilhotina automática, figura 4.11.

- Equipamento de medição de densidade, figura 4.34.
- Sensores óticos retro-refletidos.
- Transportadores de passadeira.
- Transportadores de rolos.
- Transportadores *cross conveyor*, figura 5.7 - consistem no conjunto de um transportador de rolos normal com correiras ortogonais à sua direção que elevam pneumaticamente ou eletricamente, deste modo é possível transportar o bloco para uma direção perpendicular ao sentido do transportador.

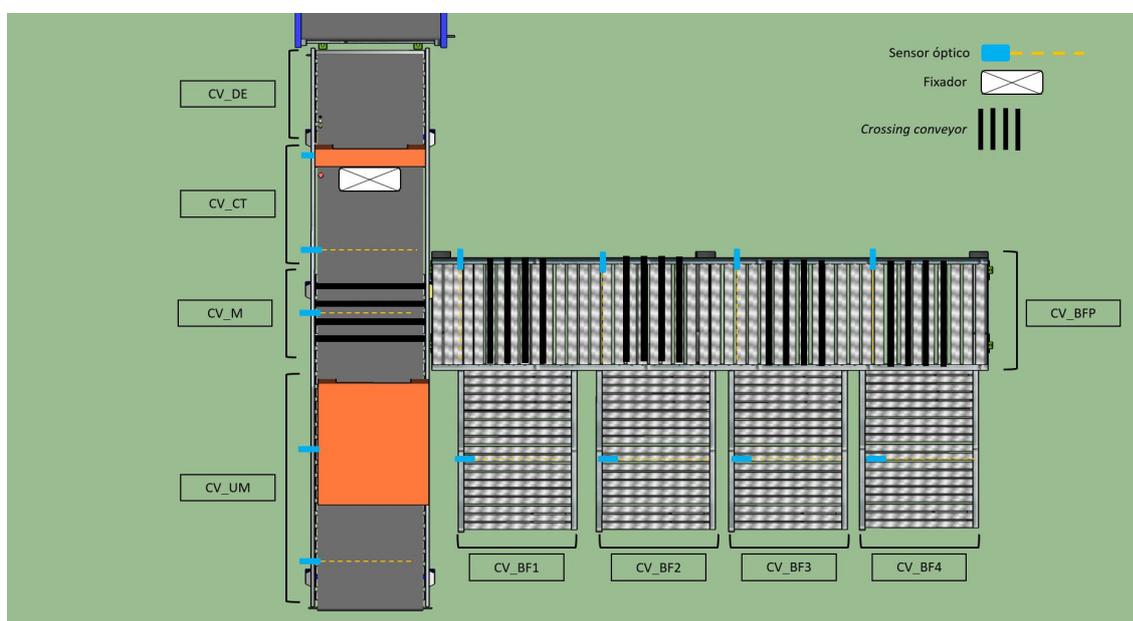


Figura 5.6: Detalhe da unidade de corte com divisão em áreas



Figura 5.7: Exemplo de *crossing conveyor* para mudança de direção

## 5.2 Arquitetura de controlo

Para controlar o sistema no ambiente industrial é necessário definir a forma como estes equipamentos comunicam entre si, ou seja, quais são os equipamentos de controlo e protocolos de comunicação integrantes do sistema.

A continental usa a **Siemens** como marca *standard* de equipamentos de controlo industriais. Isto ocorre por razões de assistência, fácil integração dos equipamentos da mesma marca. Existe também a necessidade de integração dos novos equipamentos da fábrica no sistema TIA Portal da Siemens, que é um sistema que permite a integração dos equipamentos industriais, facilitando o acesso e dando uma maior flexibilidade ao sistema produtivo.

A siemens usa atualmente ProfiNet como *standard* de rede industrial nos seus equipamentos.

### 5.2.1 Equipamentos de controlo

A escolha de equipamentos foi feita com base no catálogo da siemens bem como tendo em consideração os equipamentos que se utilizam na fábrica, como é o caso do PC industrial e dos *drives* de motores. Nesta arquitetura são utilizador os seguintes equipamentos:

- Um PC industrial para funcionar como softPLC (situação usual na fábrica).
- *Switches* ProfiNet para ligação dos equipamentos.
- Um monitor (*display*) para mostrar dados e indicações do processo.
- Módulos de entradas e saídas com *motor starters*.
- Drives de motores G120 para controlo preciso de tapetes.
- Módulo SIMOTION para controlo do robô *Gantry*.
- Leitores de códigos de barras para rastreabilidade. (Embora não seja um equipamento de controlo, está representado pois faz parte da rede Profinet representada).

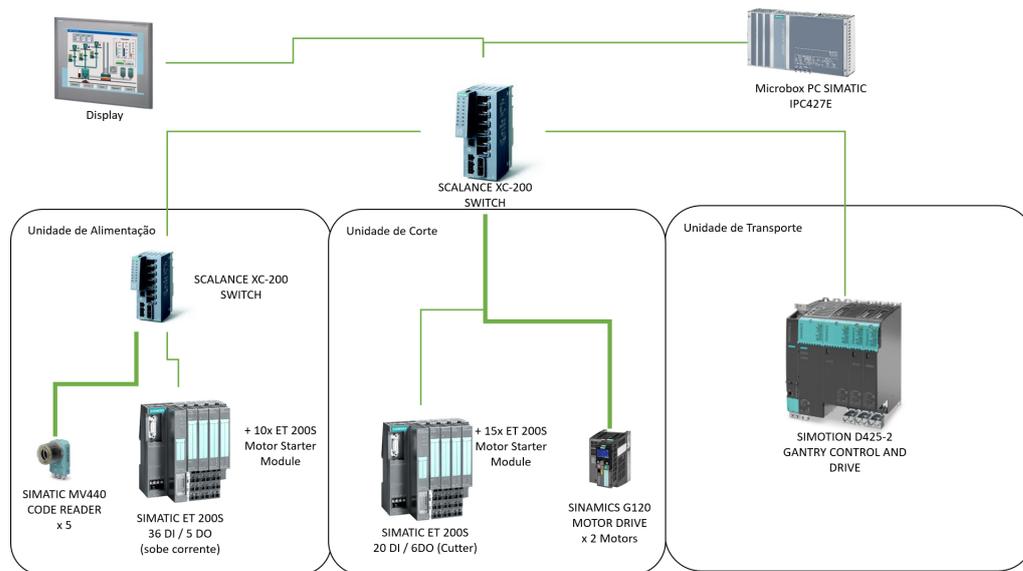


Figura 5.8: Equipamentos de controle para o sistema - Siemens

### 5.2.1.1 PC industrial

Para a execução do programa de controle, utiliza-se um PC industrial (Microbox PC IPC427E). Este computador executa o sistema operativo Windows em paralelo com a aplicação WinAC RTX, que é o software para implementação de soluções em tempo real e determinísticas. A fiabilidade do sistema implementado no PC está no facto de haver uma divisão ao nível da *kernel* para estes dois modos de execução, e apenas uma zona de memória partilhada entre a execução do WinAC RTX e do Windows, o que previne falhas e uma fiabilidade certificada do sistema. Os vários *softwares* e interações do PC industrial encontram-se representados na figura 5.9.

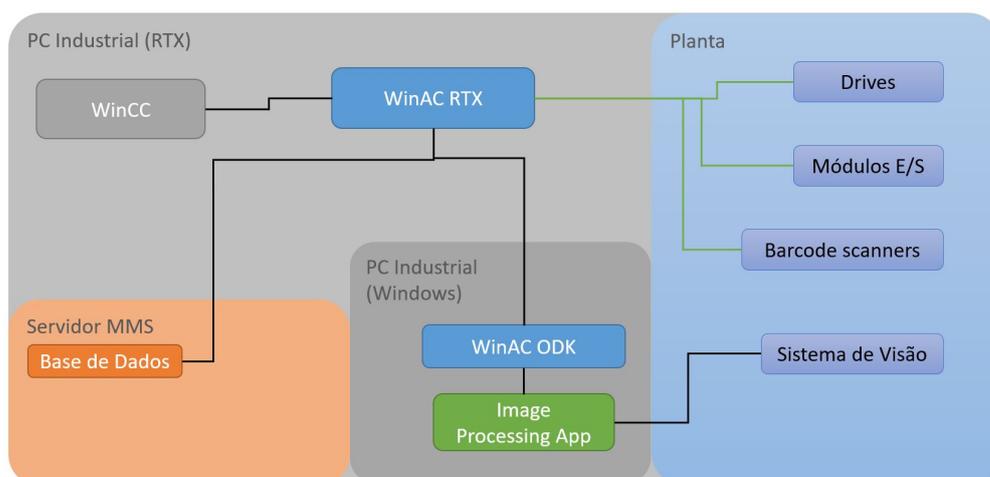


Figura 5.9: Softwares e interações do PC industrial

- O WinAC ODK (*Open Development Kit*) é a aplicação que permite a troca de dados entre o Windows e a aplicação de controlo de tempo-real.
- O WinCC é o sistema SCADA, que permite a visualização do processo
- O WinAC RTX é o programa de controlo tempo-real para o sistema - corresponde ao software SIEMENS utilizado para soluções de automação baseadas em PC, e permite controlo em tempo real determinístico. Permite implementação de software de controlo em STEP 7 (*software* para criação de aplicações de controlo).

O computador possui interfaces ProfiNet para comunicação com os equipamentos do sistema, funciona da mesma forma e com o mesmo software que um PLC Siemens equivalente.

Para além disto, deve possuir uma ligação à base de dados MMS (*Mixing Management System*) da continental, onde registará a borracha que entra no sistema bem como dados que se demonstrem importantes para o rastreio de matérias primas. Esta ligação é feita pelo WinAC RTX através de uma ligação OPC UA.

A aplicação que fará a análise de imagem a partir do sistema de visão, com comunicação ao PC através de uma conexão Ethernet, que será executada no Windows. Os dados relativos à posição dos blocos serão enviados para o WinAC RTX através da zona de memória partilhada entre as duas plataformas, recorrendo ao WinAC ODK. A mesma situação se passará relativamente ao sistema de medição de densidade (figura 4.34), que possui um software próprio, o **WinBale 4**.

#### 5.2.1.2 Módulos E/S e *Motor Starters*

Será utilizado o equipamento SIMATIC ET 200S com módulos de entradas e saídas remotos para o controlo das células, um módulo para a unidade de alimentação e outro para a unidade de corte. Estes módulos permitem ser acedidos diretamente pelo *software* de controlo de uma forma transparente. Para além dos módulos de entradas e saídas contém também módulos de *motor starters*, que são necessários para ativar cada motor de cada transportador.

#### 5.2.1.3 Drives de motores

Para um movimento determinístico com velocidade controlada com feedback de *encoders* nos motores, utiliza-se o equipamento SINAMICS G120 da siemens para os transportadores da guilhotina e da unidade de medida (respetivamente CV\_CT e CV\_UM na figura 5.6). O equipamento SINAMICS G120 é um sistema modular que permite controlar a velocidade de um motor por variação de frequência de alimentação. É composto por 3 elementos:

- A unidade de potência - alimenta a unidade e fornece a potência necessária para o motor.
- A unidade de controlo - permite a comunicação ProfiNet e a configuração dos parâmetros do motor.
- O painel de operação - dá informações sobre o processo.

Com este sistema podem ser utilizados motores monofásicos ou trifásicos desde os 0,55 kW aos 250 kW.

No robô gantry está-se perante um sistema com movimentos de translação em 3 eixos e de rotação num deles, ou seja, um conjunto de 4 motores. A Siemens possui um equipamento apropriado para este tipo de aplicações multi-eixos, o SIMOTION D425-2, que é um sistema modular com os seguintes elementos:

- O CPU, que possui funcionalidades de um autómato, bem como de controlo em malha fechada, com *feedback* dos *encoders*, dos movimentos dos motores com sistemas otimizados para vários tipos de configuração, como a configuração de um robô *gantry*, ou seja, este sistema pode receber apenas coordenadas finais e efetuar o cálculo da trajetória, bem como os movimentos necessários.
- A unidade de alimentação para os motores.
- Os drives dos motores, um drive por motor SINAMICS S120.

Os valores dos *encoders* são obtidos através da comunicação DRIVE-CLiQ, uma interface para a comunicação com *encoders*, que permite a comunicação a 100 Mbits/s e uma fácil instalação e leitura no sistema, [25].

## 5.2.2 Arquitetura de comunicação

Todos os equipamentos de controlo apresentados (Drives, scanners, módulos de entradas e saídas) são equipamentos SIEMENS com possibilidade de comunicação via ProfiNet. As únicas exceções a esta situação são o envio de dados para o *display led*, figura 4.28, que é efetuado recorrendo a ModBus TCP.

## 5.3 Modelação do funcionamento

De modo a definir o comportamento do sistema e o seu modo de implementação foi efetuada uma modelação de uma possibilidade do funcionamento do sistema em diagramas *Grafcet*, em conjunto com uma arquitetura de controlo. Foi definida uma série de parâmetros de entrada do sistema, que é utilizada nos diagramas para.

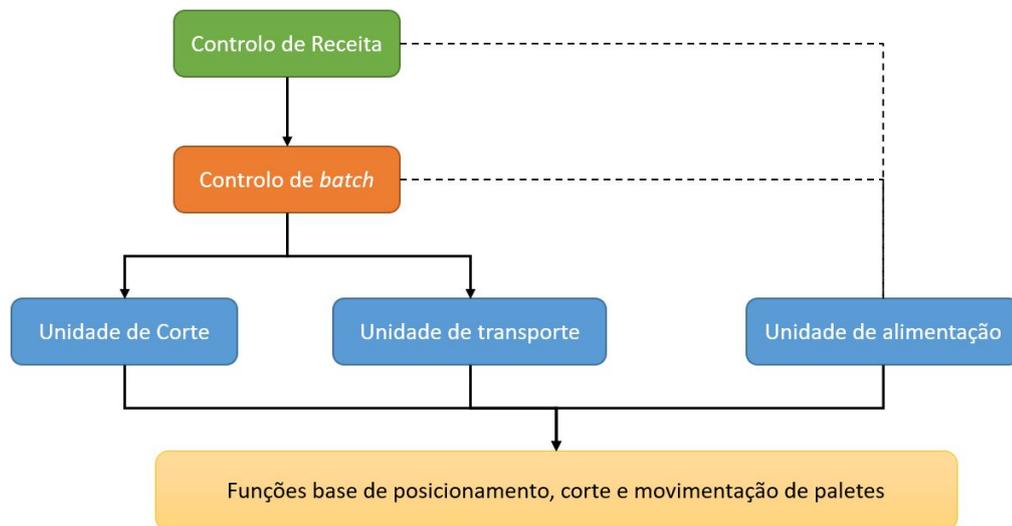
Estes parâmetros estão representados na tabela 5.1. E na prática serão valores armazenados na base de dados MMS (*Mixing Management System*) existente na fábrica.

O arquitetura de controlo é hierárquica, com vários níveis elementos, como representado na figura 5.10. Cada elemento representado na figura contém um *grafcet* associado, foram projetados cinco diagramas *grafcet* correspondentes ao controlo no: nível de receita, nível de batch, unidade de corte, unidade de transporte e unidade de alimentação.

As funções base descritas na figura 5.10, correspondem às funções de movimentos e processos concretos elementares, tabela 5.2.

Parâmetros	Descrição
N_blocos(x)	Nº de blocos inteiros na receita atual do elemento "x"
N_blocos_par(x)	Fração de bloco parcial na receita atual do elemento "x"
Bale_count(x)	Nº de blocos do elemento "x" na paleta de alimentação 5 (atualizado pelo sistema de visão)
Bale_pos(x)	Coordenadas da posição do próximo bloco do elemento "x" a retirar (dada pela análise de imagem da câmara)
N_elem	Número de polímeros distintos na receita
N_elem_par	Número de polímeros distintos para corte na receita
N_batch	Número de <i>batches</i> da receita atual

Tabela 5.1: Parâmetros do sistema de controlo

Figura 5.10: Elementos constituinte da modelação do controlo em *grafcet*

Definidos os parâmetros e funções necessárias para o funcionamento do sistema, procede-se à explicação dos diagramas *grafcet* referidos anteriormente, que se encontram documentados em [B](#).

### 5.3.1 Unidade de Alimentação

O diagrama *grafcet* da unidade de alimentação, representado na figura [5.11](#) tem a função de controlar a entrada de paletes e posicionamento na célula. O diagrama foi projetado numa versão compacta, pois na verdade são necessários cinco diagramas em que o  $x$  (da figura) corresponde à posição da paleta na unidade de alimentação. Ou seja, temos cinco diagramas em que o  $x$  toma os valores de 1, 2, 3, 4 e 5.

Funções	Descrição
Cut(length)	Controla guilhotina e tapete, corta pela fração indicada (length). Feedback através de variável <i>cutted</i> e <i>remain</i> . Figura B.1
ToCutter(pos)	Sistema de manipulação retira bloco de uma palete (na posição <i>pos</i> ) e coloca na unidade de corte. Feedback através de variável <i>ToCutter_Ok</i> . Figura B.2
ToScale(pos)	Sistema de manipulação retira bloco de uma palete (na posição <i>pos</i> ) e coloca na balança. Feedback através de variável <i>ToScale_Ok</i> . Figura B.3

Tabela 5.2: Funções base de controlo

O diagrama tem o seguinte funcionamento:

- Começa com um estado inicial, PX1 (no caso real: P11, P21 até P51), em que transita para o estado seguinte se o tipo de borracha associado aquela posição da unidade estiver presente na receita a executar.
- Seguidamente aguarda a colocação da palete na entrada, zona PLA\_1 até PLA\_5 (figura 5.1) consoante *grafcet*, e após 20 segundos da colocação da palete, posiciona-a na zona de alimentação (PLB\_1 até PLB\_5) através de uma macro-etapa específica para o movimento.
- É sinalizada que a palete se encontra pronta a ser processada pelo sinal *Ready(x)*.
- Se a palete ficar sem blocos ou a receita acabar e não esteja a ser efetuado nenhum movimento de saída, a palete desloca-se para a zona de descarga.
- Volta-se ao estado inicial a aguardar uma nova palete ou ordem de receita.

### 5.3.2 Unidade de Transporte

O diagrama de controlo da unidade de transporte, representado na figura 5.12 dá as indicações sobre a ordem de despaletização dos blocos, bem como garante a despaletização de todos os blocos necessários ao *batch*. Este diagrama corresponde ao ciclo de um *batch* e pode ser dividido em duas partes:

- Primeiro, transporte de blocos a serem cortados.
- Segundo, transporte de blocos para a balança.

A divisão ocorre no estado GM6. E o digrama tem o seguinte funcionamento:

- Começa pelo estado GM1 onde atribui à variável local *x* o elemento a tratar (os elementos são identificados pela sua posição na unidade de alimentação).

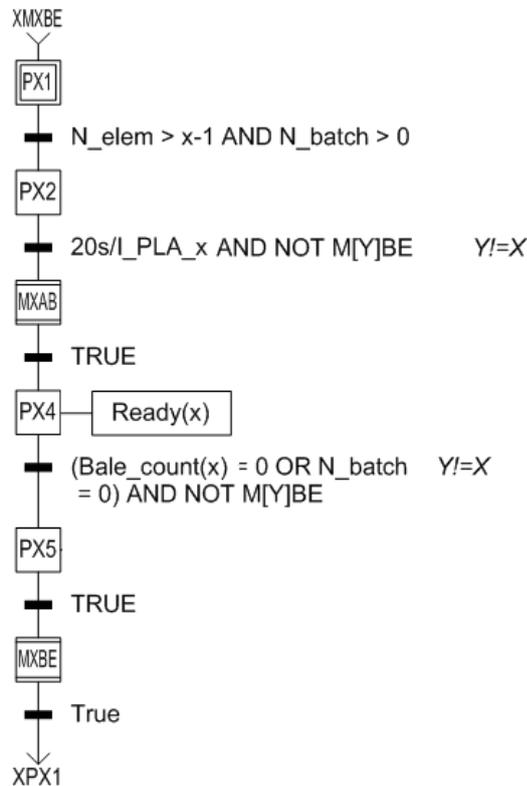


Figura 5.11: *Grafcet* para controlo da unidade de alimentação

- Verifica se é necessário a alimentação da unidade de corte com o elemento em questão, comparado **Buf\_qty** (variável interna que indica a fração de bloco do elemento "x" armazenada na unidade de corte) com o a fração necessária daquele elemento para o *batch*.
- Caso não seja necessário alimentar o *batch*, trata o próximo elemento, caso contrário dá a ordem de transporte ao robô através da função **ToCutter**. E repete o ciclo para o número de elementos da receita.
- Seguidamente, e com o mesmo raciocínio, transporta os blocos inteiros para a balança, através da função **ToScale**.
- Quando termina a execução, fica no estado GM10. A ativação do estado para a preparação de um novo *batch* é feita pelo *grafcet* de controlo do *batch*.

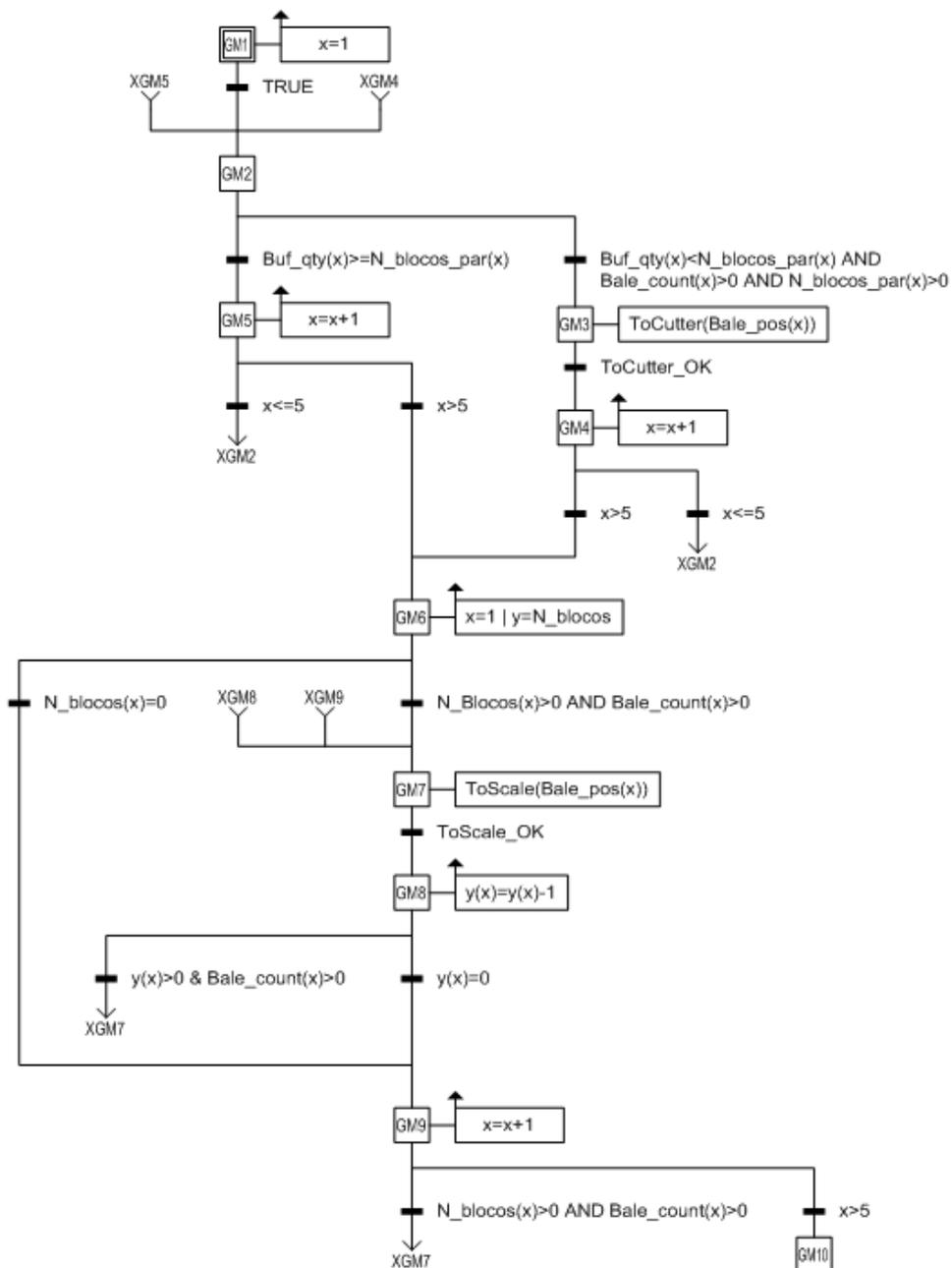


Figura 5.12: *Grafset* para controlo da unidade de transporte

### 5.3.3 Unidade de Corte

O controlo da unidade de corte, figura 5.13, tal como na unidade de transporte, é modelado através de um diagrama que é percorrido de forma cíclica. Esta parte da modelação encarrega-se

das indicações de corte e transporte de materiais.

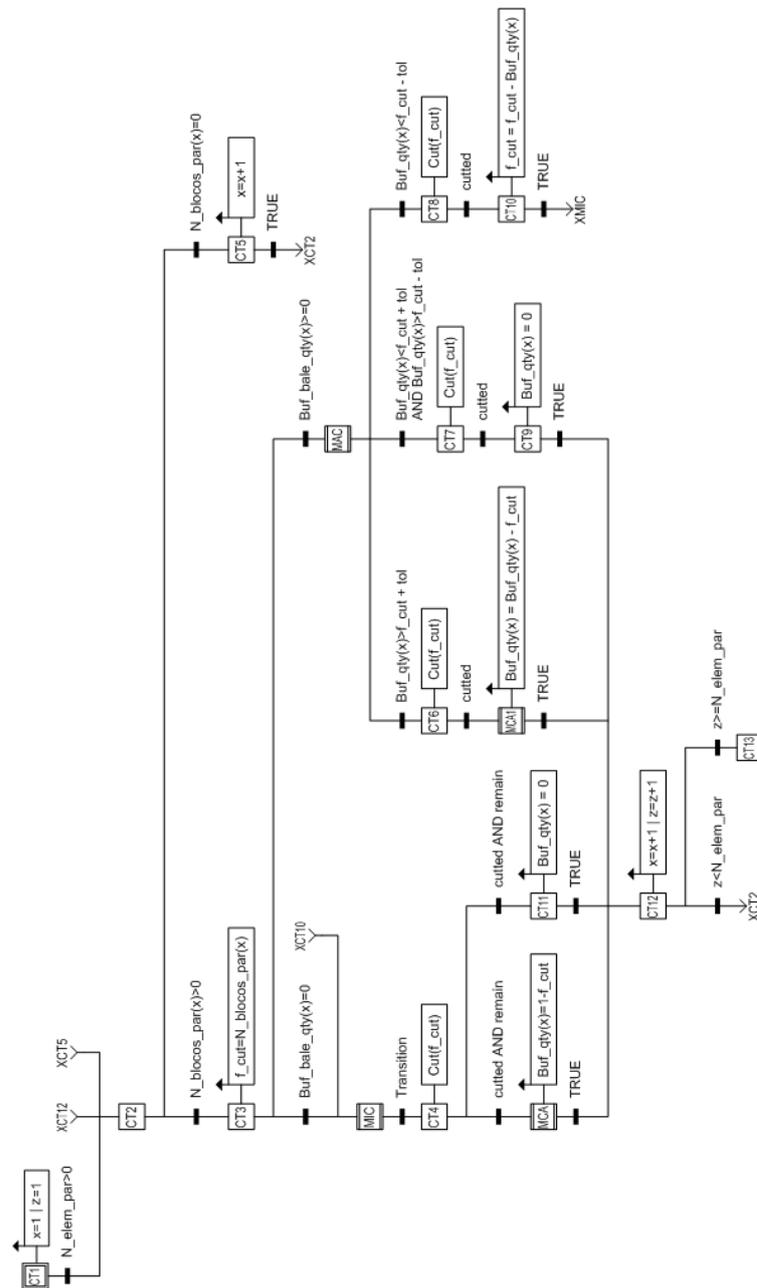


Figura 5.13: Grafcet para controlo da unidade de corte

Tem o seguinte funcionamento:

- Inicia-se com a definição de duas variáveis locais,  $x$  e  $y$ , que corresponde à zona de alimentação do elemento e ao número de blocos diferentes cortados (que será incrementado ao longo da execução), respetivamente.
- Seguidamente é definida a variável  $f_{cut}$  caso o elemento  $x$  tenha parte parcial, ou seja, necessita de ser cortado. Esta variável indica a fração de bloco a ser cortado.
- Caso o elemento que estamos a tratar esteja armazenado na unidade, será direcionado para a guilhotina através da macro-etapa MAC, caso contrário o robô posicionará um bloco na zona de carga que será direcionado para a guilhotina através da macro-etapa MIC.
- Seguidamente, e dependendo se sobra ou não bloco depois do corte, este é armazenado, e no caso de não haver bloco suficiente o robô alimenta a unidade com outro bloco.
- É incrementado o valor de  $x$  e de  $y$  para, respetivamente, tratar o próximo bloco e indicar que já foram tratados  $y$  elementos diferentes da receita.

É definido ainda uma variável  $tol$  que corresponde à tolerância de pesagem dos blocos.

#### 5.3.4 Controlo de *batch*

O controlo de *batch* dá início a unidade de transporte e alimentação. Encontra-se representado na figura 5.14.

Tem o seguinte funcionamento:

- No estado inicial encontra-se a aguardar a indicação do sistema atual de uma variável que indica que pode começar a execução da receita.
- Verifica se todas as paletes necessárias estão prontas a serem despaletizadas.
- Inicia os graficets da unidade de transporte e corte, e após este ponto que decorre o normal funcionamento do sistema.
- Caso alguma paleta fique sem blocos, o graficet de transporte é parado.
- Quando a receita termina, o sistema volta ao estado inicial.

Os *Graficets* representados por GM e CT, correspondem ao *Graficet* de Transporte e Corte, respetivamente.

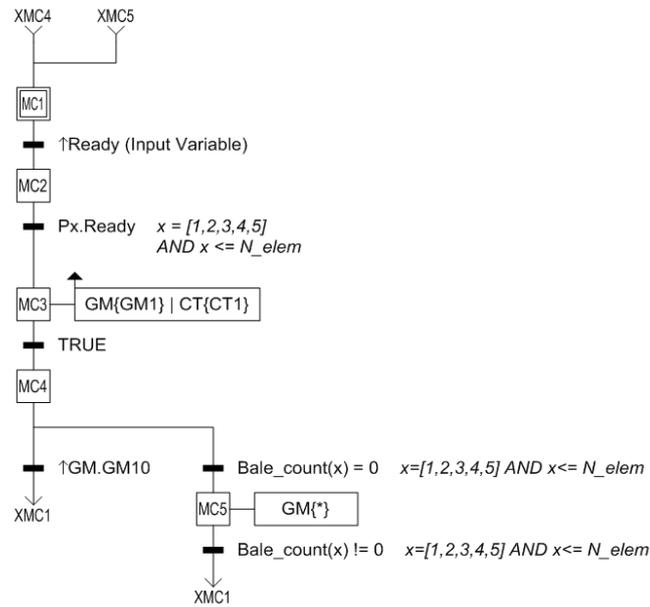


Figura 5.14: *Grafcet* para controlo do *batch*

### 5.3.5 Controlo de Receita

Este *grafcet* tem a unção de controlar a receita, ou seja, o número de *batches* a ser preparados. Figura 5.15.

- Aguarda o sinal *Go*, que indica o começo de uma nova receita.
- Inicializa os *grafcets* de alimentação e controlo de *batch*.
- Monitoriza o fim da receita para parar os *grafcets*.

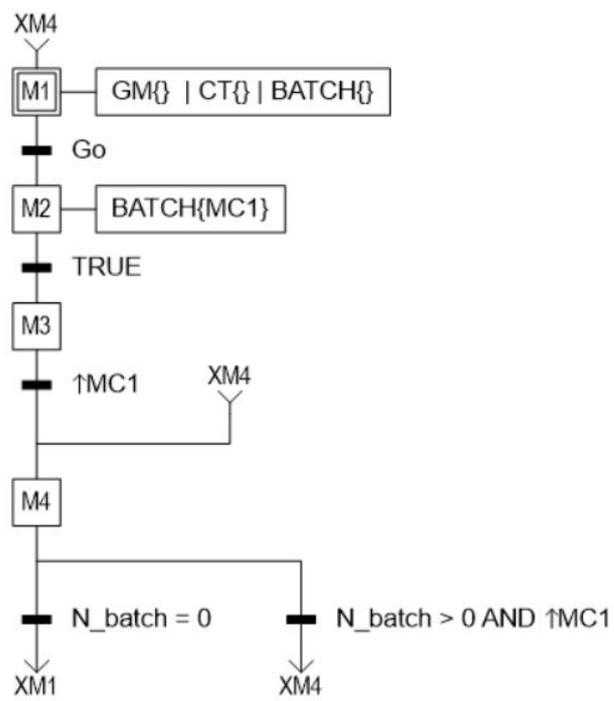


Figura 5.15: Grafcet para controlo da receita

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

Cada vez mais no meio industrial é necessário recorrer a novos processos produtivos, e tecnologias, para tornar a produção mais eficiente e eficaz. Neste capítulo pretende-se analisar a proposta apresentada em relação ao requisitos necessários, bem como indicar melhorias de funcionamento do sistema, ou seja, quais são os pontos que têm mais potencial de desenvolvimento e de que tipo.

### 6.1 Satisfação dos Objectivos

Através da definição dos elementos constituintes e do sistema projetado, chega-se à conclusão de que é possível construir o sistema proposto, tendo em conta alguns riscos e limitações de construção de equipamentos.

Relativamente ao sistema de transporte, o que se pensava ser a melhor e mais flexível alternativa - o braço robótico - demonstrou-se incapaz de executar as receitas dentro do tempo pretendido. Demonstrou-se que o robô *gantry* possui um melhor comportamento nesta situação. No sistema de corte foi possível conjugar dois equipamentos chave - a guilhotina automática e a unidade de medida de densidade - e deste modo conseguiu-se um sistema totalmente automático e capaz de lidar com todas as receitas presentes.

Foi possível, deste modo, descrever o problema com o detalhe necessários de modo a compreender os requisitos, planear novos *layouts* com base em equipamentos de mercado e de novas ideias de conceitos, e seguidamente escolher o melhor *layout* para a aplicação tendo em conta vários critérios. Com o *layout* definido, escolheu-se uma série de equipamentos para controlo e funcionamento da célula e modelou-se o funcionamento da mesma recorrendo a uma metodologia adequada ao controlo de processos, o *grafcet*.

A maiorias dos pontos críticos - extração e corte de blocos - relativamente ao sistema a desenvolver foram solucionados, tendo em conta que o esclarecimento de algumas dúvidas de funcionamento de um sistema deste género estariam ligadas à necessidade da execução de testes experimentais de partes do sistema, e salienta-se neste ponto a extração de blocos, devido à desconhecida variedade do material.

Por outro lado, este sistema melhora a rastreabilidade do material e potencia a redução do erro humano neste processo. Dá também a possibilidade da existência uma base de dados com características dos blocos que constam em armazém, que não existe.

## 6.2 Trabalho Futuro

Tendo em conta o ciclo de vida do sistema, este situa-se agora no início do desenvolvimento, sendo posteriormente necessário efetuar vários testes, e começar por implementar partes do sistema.

O trabalho futuro consiste num estudo de viabilidade das partes mais críticas através de testes experimentais, como o sistema de visão, extração de blocos e corte, de modo a produzir alguns equipamento feitos à medida, como o *gripper*. Ou seja, será necessário testar o cenário de iluminação adequado para a aquisição de imagem e criar um protótipo do *gripper* tendo por base o conceito apresentado de modo a testar o seu funcionamento. Após esta fase estar validada, é necessário produzir um protótipo do sistema para teste e inspeções, verificações e afinações.

O modelo de controlo proposto aborda o núcleo do funcionamento do sistema, sendo por isso necessário o desenvolvimento dos sistemas de segurança, por exemplo, bem como a introdução de melhorias mais eficientes - o estudo de uma situação em que se usa um robô *gantry* de dois braços ao invés de um (o que introduzia uma melhoria significativa no tempo de ciclo do projeto, e dava uma maior margem de manobra temporal na execução de receitas mais complexas).

Essencialmente, o trabalho futuro consiste na divisão do projeto em partes: a unidade de alimentação, transporte e corte. Numa fase inicial fazer uma análise de falhas de cada sub-sistema e efetuar testes experimentais.

## **Anexo A**

# **Sensores e atuadores**

### **A.1 Unidade de alimentação**

Sensores			
Componente	Descrição	Tipo	Código
PLA_1	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_11
PLA_1	2ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_12
PLA_2	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_21
PLA_2	2ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_22
PLA_3	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_31
PLA_3	2ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_32
PLA_4	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_41
PLA_4	2ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_42
PLA_5	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_51
PLA_5	2ª Barreira óptica	Bool	I_PLA_52
PLB_1	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLB_11
PLB_2	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLB_21
PLB_3	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLB_31
PLB_4	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLB_41
PLB_5	1ª Barreira óptica	Bool	I_PLB_51
PLP_1	1º Indutivo	Bool	I_PLP_11
PLP_1	2º Indutivo	Bool	I_PLP_12
PLP_2	1º Indutivo	Bool	I_PLP_21
PLP_2	2º Indutivo	Bool	I_PLP_22
PLP_3	1º Indutivo	Bool	I_PLP_31
PLP_3	2º Indutivo	Bool	I_PLP_32
PLP_4	1º Indutivo	Bool	I_PLP_41
PLP_4	2º Indutivo	Bool	I_PLP_42
PLP_5	1º Indutivo	Bool	I_PLP_51
PLP_5	2º Indutivo	Bool	I_PLP_52
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_A1
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_A2
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_A3
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_A4
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_A5
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_B1
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_B2
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_B3
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_B4
PLP	Indutivo	Bool	I_PLP_B5
PLP	Barreira óptica descarga	Bool	I_PLP_E

Tabela A.1: Sensores da unidade de alimentação

<b>Atuadores</b>			
<b>Componente</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Código</b>
PLP_1	Mover corrente frente	Bool	O_PLP_1F
PLP_1	Mover corrente trás	Bool	O_PLP_1T
PLP_2	Mover corrente frente	Bool	O_PLP_2F
PLP_2	Mover corrente trás	Bool	O_PLP_2T
PLP_3	Mover corrente frente	Bool	O_PLP_3F
PLP_3	Mover corrente trás	Bool	O_PLP_3T
PLP_4	Mover corrente frente	Bool	O_PLP_4F
PLP_4	Mover corrente trás	Bool	O_PLP_4T
PLP_5	Mover corrente frente	Bool	O_PLP_5F
PLP_5	Mover corrente trás	Bool	O_PLP_5T
PLP_1	Move esquerda	Bool	O_PLP_1E
PLP_1	Move direita	Bool	O_PLP_1D
PLP_2	Move esquerda	Bool	O_PLP_2E
PLP_2	Move direita	Bool	O_PLP_2D
PLP_3	Move esquerda	Bool	O_PLP_3E
PLP_3	Move direita	Bool	O_PLP_3D
PLP_4	Move esquerda	Bool	O_PLP_4E
PLP_4	Move direita	Bool	O_PLP_4D
PLP_5	Move esquerda	Bool	O_PLP_5E
PLP_5	Move direita	Bool	O_PLP_5D
PLP_1	Sobe corrente	Bool	O_PLP_1S
PLP_2	Sobe corrente	Bool	O_PLP_2S
PLP_3	Sobe corrente	Bool	O_PLP_3S
PLP_4	Sobe corrente	Bool	O_PLP_4S
PLP_5	Sobe corrente	Bool	O_PLP_5S

Tabela A.2: Atuadores da unidade de alimentação

## A.2 Unidade de corte

Sensores			
Componente	Descrição	Tipo	Código
UC	Óptico Lateral	Bool	I_UC_OPT
UC	FDC Lâmina Fundo	Bool	I_UC_FLB
UC	FDC Lâmina Topo	Bool	I_UC_FLT
CV_UM	Encoder Posição	Real	I_CV_UM_POS
CV_UM	Óptico Lateral Carga	Bool	I_CV_UM_OE
CV_UM	Óptico Lateral	Bool	I_CV_UM_O
CV_M	Óptico Lateral	Bool	I_CV_M_O
CV_M	Óptico Vertical	Bool	I_CV_M_OV
CV_CT	Encoder Posição	Real	I_CV_CT_POS
CV_CT	1º Óptico Lateral	Bool	I_CV_CT_O1
CV_CT	Óptico Lateral de corte	Bool	I_CV_CT_OC
CV_DE	Óptico Lateral	Bool	I_CV_DE_O
CV_BFP	1º Óptico Lateral	Bool	I_CV_BFP_O1
CV_BFP	2º Óptico Lateral	Bool	I_CV_BFP_O2
CV_BFP	3º Óptico Lateral	Bool	I_CV_BFP_O3
CV_BFP	4º Óptico Lateral	Bool	I_CV_BFP_O4
CV_BF1	Óptico Lateral	Bool	I_CV_BF1_O
CV_BF2	Óptico Lateral	Bool	I_CV_BF2_O
CV_BF3	Óptico Lateral	Bool	I_CV_BF3_O
CV_BF4	Óptico Lateral	Bool	I_CV_BF4_O

Tabela A.3: Sensores da unidade de corte

Atuadores			
Componente	Descrição	Tipo	Código
BL	Mover frente	Bool	O_BL_F
BL	Mover trás	Bool	O_BL_T
UC	Fixador Baixo	Bool	O_UC_FB
UC	Fixador Cima	Bool	O_UC_FC
UC	Lâmina Baixo	Bool	O_UC_LB
UC	Lâmina Cima	Bool	O_UC_LC
UC	Atuador lateral 1	Bool	O_UC_A1
UC	Atuador lateral 2	Bool	O_UC_A2
CV_UM	Mover frente	Bool	O_CV_UM_F
CV_UM	Mover trás	Bool	O_CV_UM_T
CV_M	Mover frente	Bool	O_CV_M_F
CV_M	Mover trás	Bool	O_CV_M_T
CV_M	Empurrar para CV_BFP	Bool	O_CV_M_E
CV_M	Puxa de CV_BFP	Bool	O_CV_M_P
CV_CT	Mover frente	Bool	O_CV_CT_F
CV_CT	Mover trás	Bool	O_CV_CT_T
CV_CT	Ajustar bloco	Bool	O_CV_CT_AJ
CV_BFP	Mover frente	Bool	O_CV_BFP_F
CV_BFP	Mover trás	Bool	O_CV_BFP_T
CV_BFP	Empurra para CV_BF1	Bool	O_CV_BFP_E1
CV_BFP	Empurra para CV_BF2	Bool	O_CV_BFP_E2
CV_BFP	Empurra para CV_BF3	Bool	O_CV_BFP_E3
CV_BFP	Empurra para CV_BF4	Bool	O_CV_BFP_E4
CV_BFP	Puxa de CV_BF1	Bool	O_CV_BFP_P1
CV_BFP	Puxa de CV_BF2	Bool	O_CV_BFP_P2
CV_BFP	Puxa de CV_BF3	Bool	O_CV_BFP_P3
CV_BFP	Puxa de CV_BF4	Bool	O_CV_BFP_P4
CV_BF1	Mover frente	Bool	O_CV_BF1_F
CV_BF1	Mover trás	Bool	O_CV_BF1_T
CV_BF2	Mover frente	Bool	O_CV_BF2_F
CV_BF2	Mover trás	Bool	O_CV_BF2_T
CV_BF3	Mover frente	Bool	O_CV_BF3_F
CV_BF3	Mover trás	Bool	O_CV_BF3_T
CV_BF4	Mover frente	Bool	O_CV_BF4_F
CV_BF4	Mover trás	Bool	O_CV_BF4_T

Tabela A.4: Atuadores da unidade de corte



## Anexo B

# Controlo

### B.1 Funções

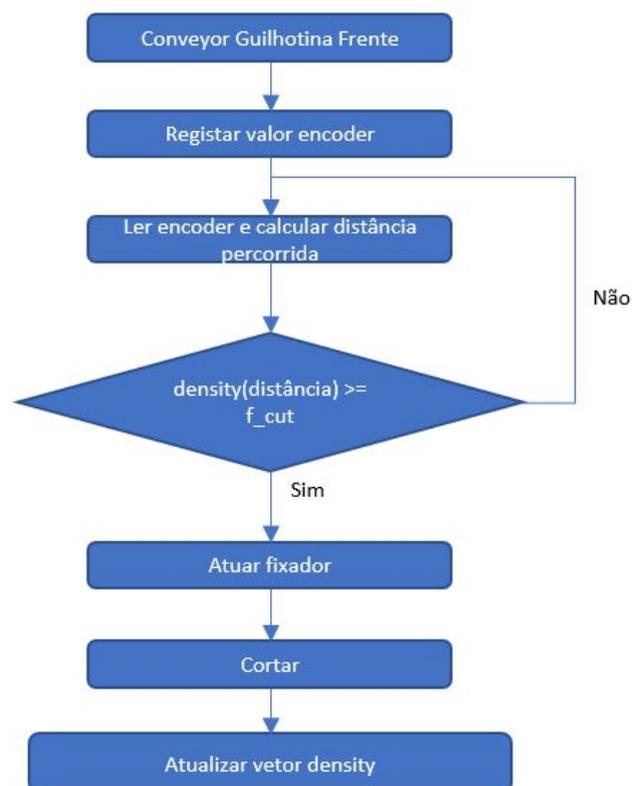


Figura B.1: Fluxo da função Cut



Figura B.2: Fluxo da função ToCutter

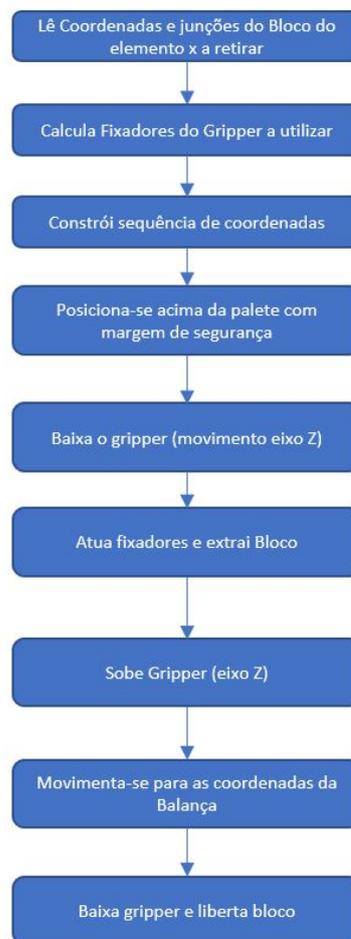


Figura B.3: Fluxo da função ToScale



# Referências

- [1] Rui Neves. Continental mabor vai investir 150 milhões e criar mais 200 empregos. 4 2017. URL: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/continental-mabor-com-lucros-de-212-milhoes-e-vendas-de-878-milhoes-em-2017>
- [2] Rui Neves. Continental mabor com lucros de 212 milhões e vendas de 878 milhões em 2017. 5 2018. URL: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/continental-mabor-com-lucros-de-212-milhoes-e-vendas-de-878-milhoes-em-2017>
- [3] Continental AG. Tyre basics passenger car tyres.
- [4] Manju Mathew. Continental to work with kordsa for greener tyre production process, 8 2017. URL: <https://tiresandparts.net/news/tires/continental-work-kordsa-greener-tyre-production-process/>.
- [5] Gerald Ferreira. Continental tyres: Advanced altimax range catapults general tyre into the passenger car segment, 7 2014. URL: <https://3d-car-shows.com/continental-tyres-advanced-altimax-range-catapults-general-tyre-into-the-pa>
- [6] Carinsurance Arrivealive. General tyre relaunches its range and brand profile in south africa, 7 2017. URL: <http://carinsurance.arrivealive.co.za/general-tyre-relaunches-its-range-and-brand-profile-in-south-africa.php>.
- [7] HF Mixing Group. *Mixers*, 2016. URL: [http://www.hf-mixinggroup.com/fileadmin/masterTemplate/Resources/Public/Flippgingbook/HF\\_MIXING\\_GROUP\\_Katalog\\_2016\\_EN/files/assets/common/downloads/publication.pdf](http://www.hf-mixinggroup.com/fileadmin/masterTemplate/Resources/Public/Flippgingbook/HF_MIXING_GROUP_Katalog_2016_EN/files/assets/common/downloads/publication.pdf).
- [8] Bainite Machine. Bainite automated turnkey mixing line, 2014. URL: <http://bainitemachines.in/>.
- [9] Económico.tv. "como se faz"um pneu, 11 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mn1MHFcfd4g>.
- [10] Rubbmach. Catalog- rubber bale cutter machine auto feeder. URL: <http://www.rubbmach.com/rubber-bale-cutting-machines.php>.
- [11] International Council on Systems Engineering. *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. 06 2015.
- [12] Kevin. Forsberg e Hal. Mooz. *Visualizing project management*. Wiley,, c1996.

- [13] Richard Muther e Lee Hales. *Systematic Layout Planning*. MIRP Books, 2015.
- [14] ABB. Abb catalog. URL: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/>.
- [15] KUKA. Kuka catalog. URL: <https://www.kuka.com/en-hu/products/robotics-systems>.
- [16] Automated Motion. Flexmotion gantry robots.
- [17] Puma Tech. Rubber processing machinery.
- [18] Visual Components. Visual components 4.1. URL: <https://www.visualcomponents.com/products/visual-components-4-0/>.
- [19] Ltd. ICP DAS Co. *iKAN Series User Manual*.
- [20] Malcam. Mma-3020 flyer.
- [21] Askold Veceslav Strat. A portable and inexpensive laser-based 3d-camera.
- [22] Moritz Vogt e Anatoly Sherman. 3d snapshot camera data in industry: How edge computing can enable optimal data provisioning, 2018.
- [23] Raymond Boridy. 3d laser triangulation calibration, 2013.
- [24] Jörgen Frohm, Veronica Lindström, Mats Winroth, e Johan Stahre. Levels of automation in manufacturing. 30:181–207, 01 2008.
- [25] SIEMENS. Drive-cliq the open encoder interface for the sinamics drives family, 2014.